“移動式VLBIアンテナについて/その電波観測計画の全体像”

ほらいずん望遠鏡

ブラックホールを見てしまおう、という計画です。

三好　真

（国立天文台）

2011年3月9日

なぜブラックホールなんて言っているか？

三好　真

図：2008年6月-7月、ペルーでの研究会

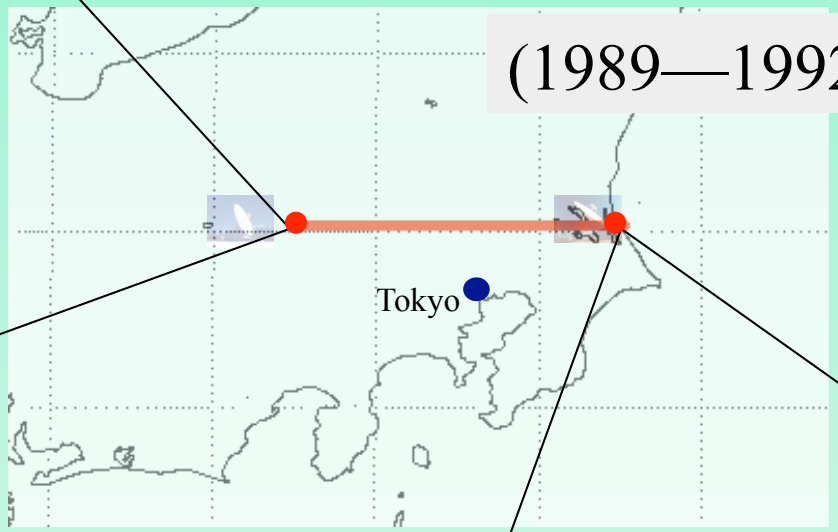
昔（80-90年代）の野辺山みたいな雰囲気を満喫しました。

KNIFE

Kashima Nobeyama Interferometer

(1989—1992)

Nobeyama 45m
(NAO)



Baseline length
200km
7mas (43GHz)

Kashima 34m
(CRL　現NICT)

43GHzで世界最高感度基線(当時)。モリモトさん発案(43GHzができるぞ。当時未知のSiOメーザ)。

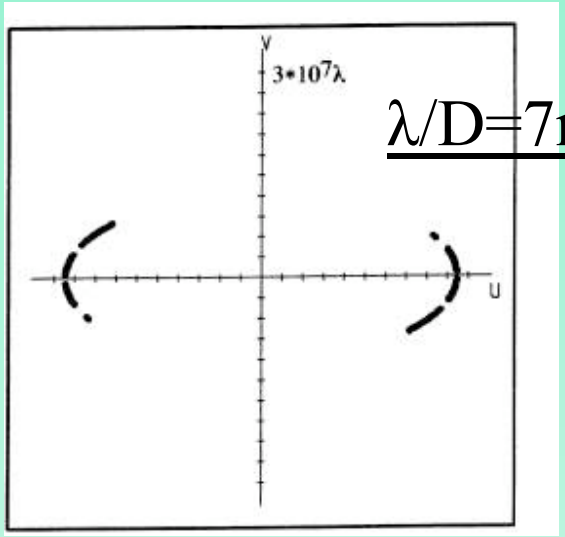
For SiO

KNIFE vs 欧3基線 初期VLBA4局

- **基線長200kmはSiO向き（モリモトさんは知っていた！）**
- MK3によるSiO(J=1-0,v=1,2)の2本の同時観測ができた。
- 鹿島Tsysは千Kもあったが、強いメーザを見れば良かった。
- K3相関器はぼろぼろ、簡コリも未完だったが
マップは決死でナントカかけた。

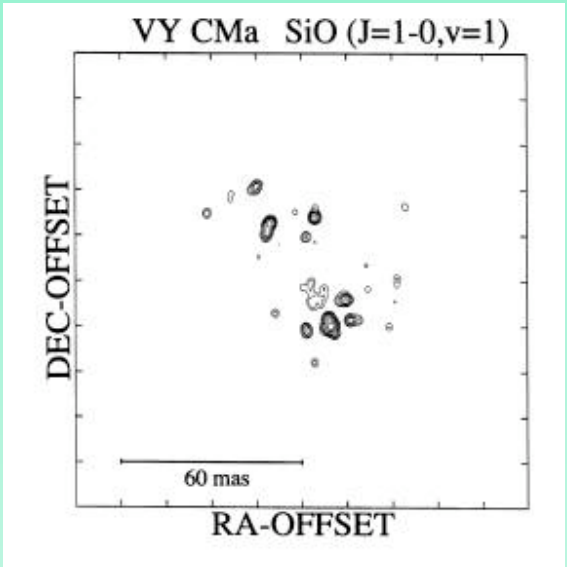
観測はガンガンやったが、相関処理はほとんどすすまない。
マップは楽には得られない。期待するNOMIKAIは動かない。
鹿島43G降ろしちゃった。J-Netは22GHzの整備で始めた。
VLBAが動き出した（これ以上やっても勝ち目ないと思った）。
J-Net運用と某予算取りで手一杯。

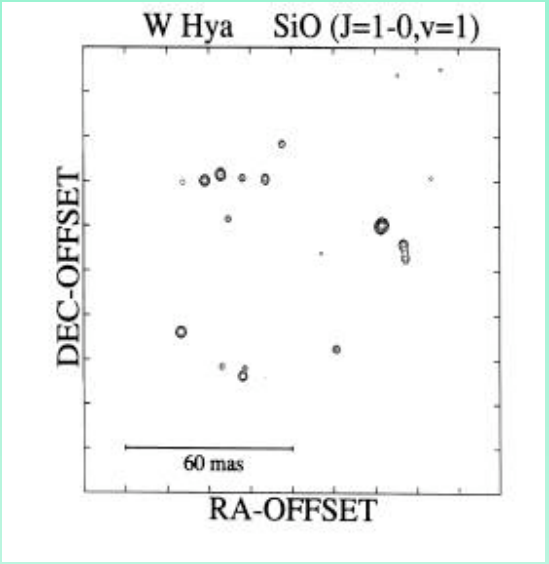
KNIFEのSiO　奇襲攻撃の勝利、でも、あとが続かない。

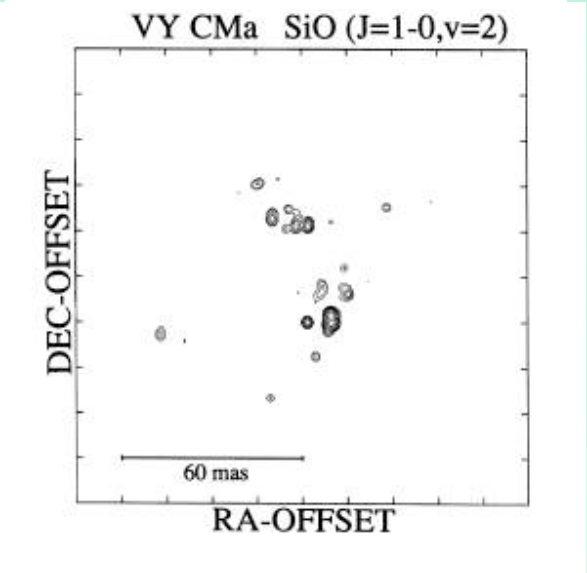


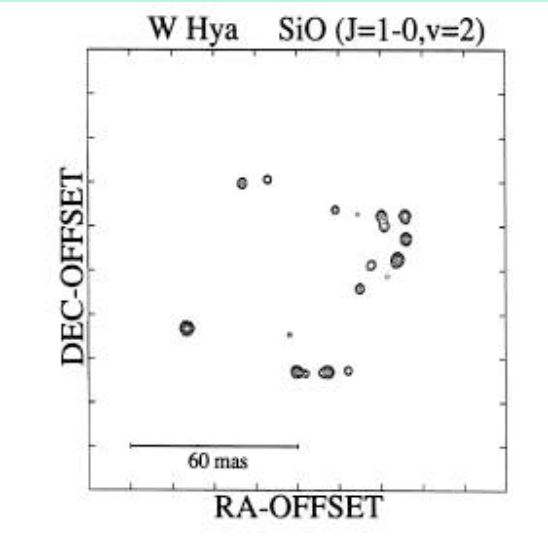
λ/D=7mas

KNIFE UV カバー

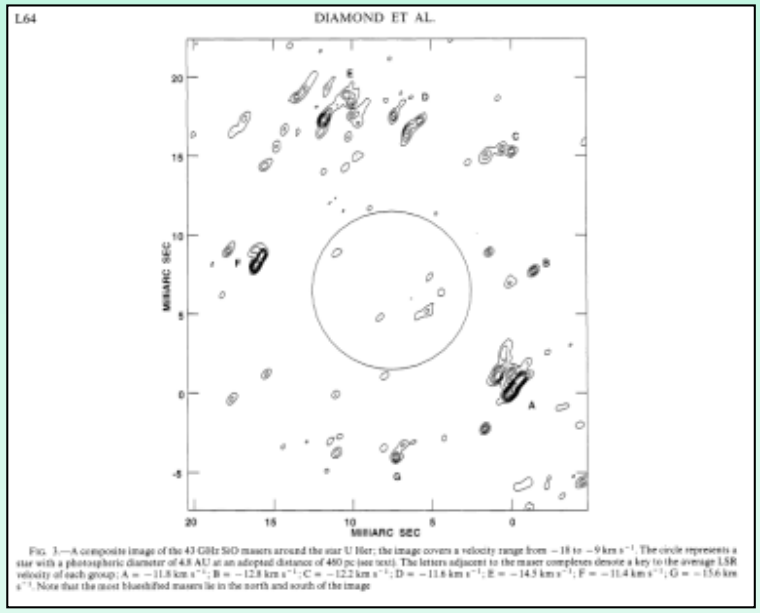




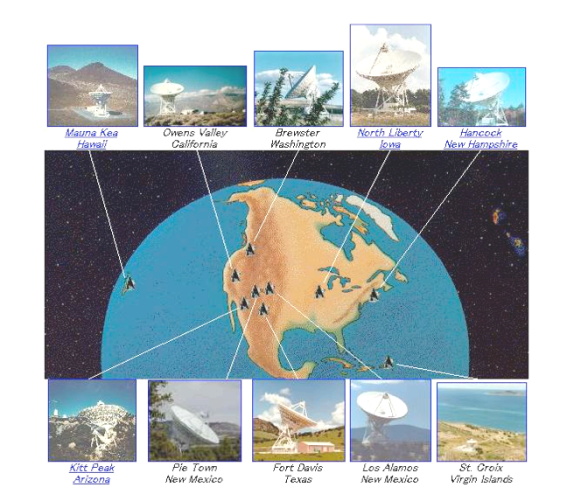




KNIFEによるVY CMa, W Hya

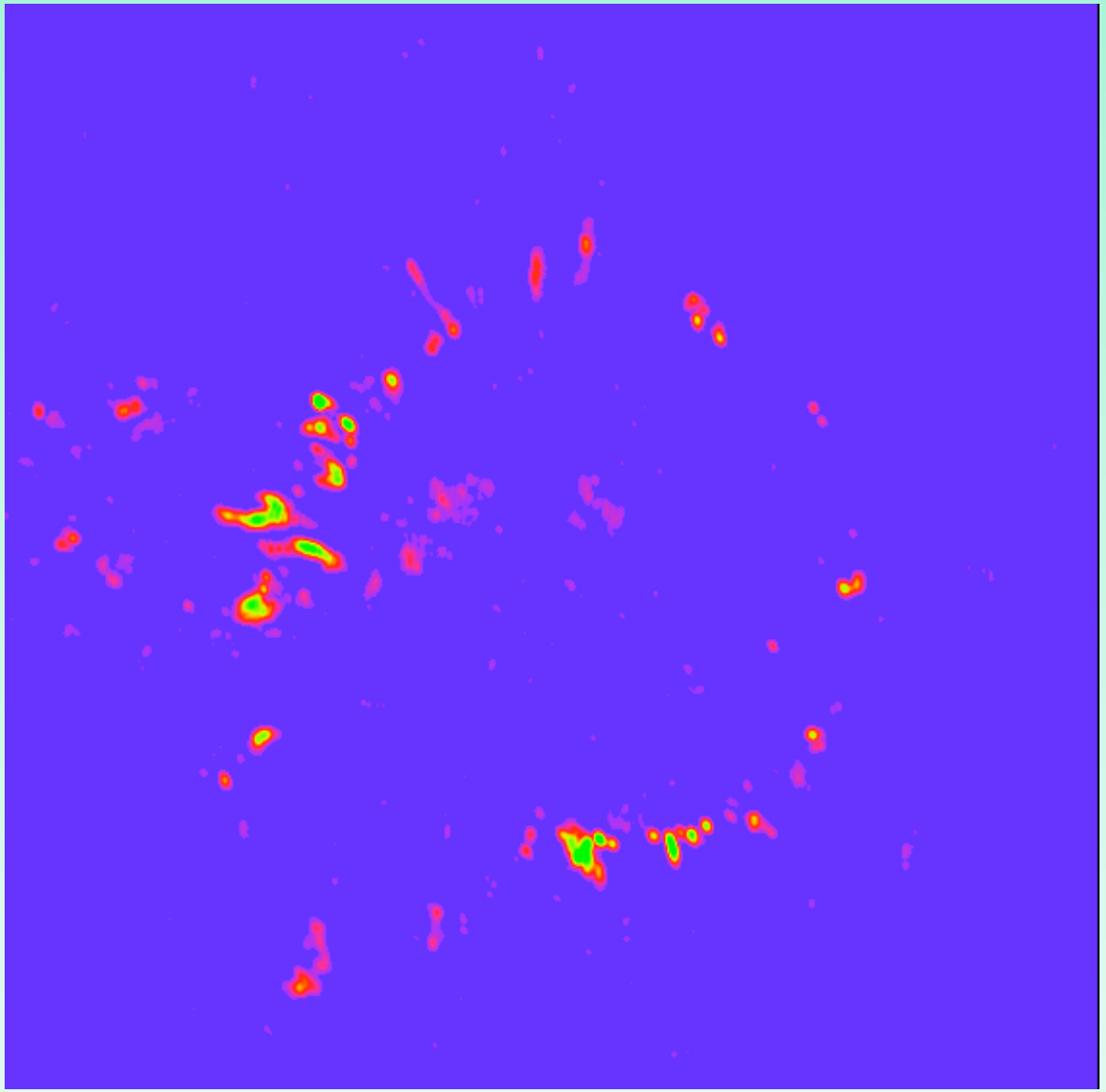


VLBA4局によるU Her



TXCam、SiOメーザームービー

http://www.aoc.nrao.edu/pr/txcam.a-ak.gif



SiOメーザの時間変動も日本でも多基線化して、こんな観測をやりたかったのだが。。。

Diamond ら（1999)

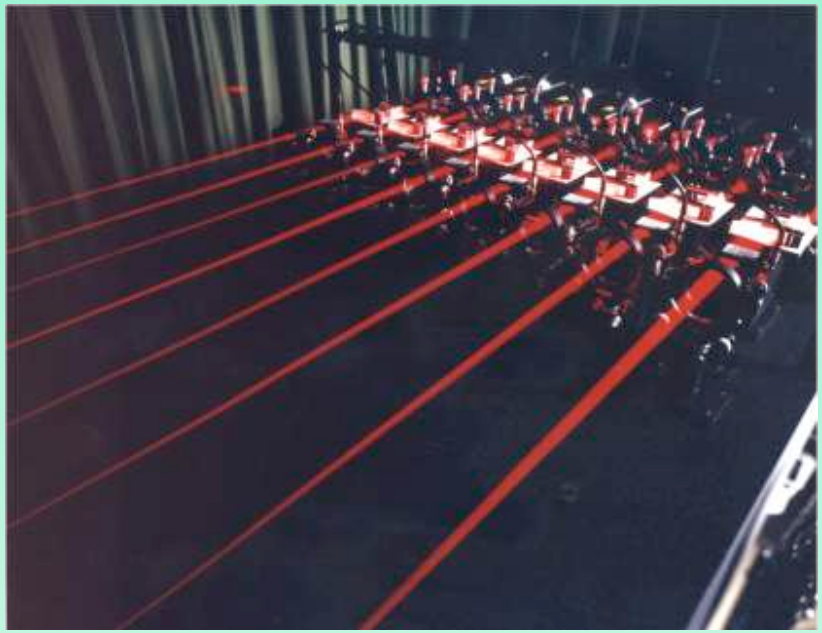
KNIFE vs VLBA

For NGC4258

基線200kmでNGC4258の構造は解像できる。現に解像した。

発見確認直後、モリモトさんの指令でKNIFEで観測。IF設定のミスで
多くを逃すものの、構造を把握する観測データだった。
簡コリの未完、マンパワーの配分ミス
（D論を一夏放棄してやったが。健太か亀nonが専念してやれば。。。）。

KNIFEの4258　もったいないなあ！



AOS (acoustic optical spectrometer)
wide band (320MHz in H mode),
high resolution(16000ch)

The AOS has very wide bandwidth and very fine resolution.
We can observe 320MHz band at once with 16 thousands channels.

< Nobeyama 45m telescope

NRO 速報

'92 5.6.
NO. 101

NGC4258:
距離 ~ 6.6 Mpc にある渦巻銀河で (SBb), 電波波電波の anomalous arms or bubble/jets がある →

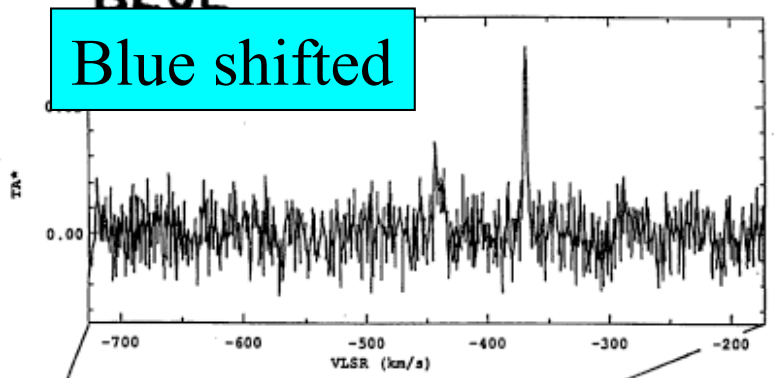
±1000 km/s の高速 H_2O メーザー源 !!
in 銀河 NGC4258

= 中心核からの分子ガスの噴出 か ? =

銀河 N4258 中心核から出ている超強力 H_2O メーザー ($L \sim 100 L_\odot$) の強度を 45m 鏡でモニター中, その成分とは別物で, 銀河の中心速度に対し, −920 ~ −850 km/s および +760 ~ +980 km/s のところに強力な新成分を発見. 相対強度は時間変化している. 5点法によると, 中心部から出ている.

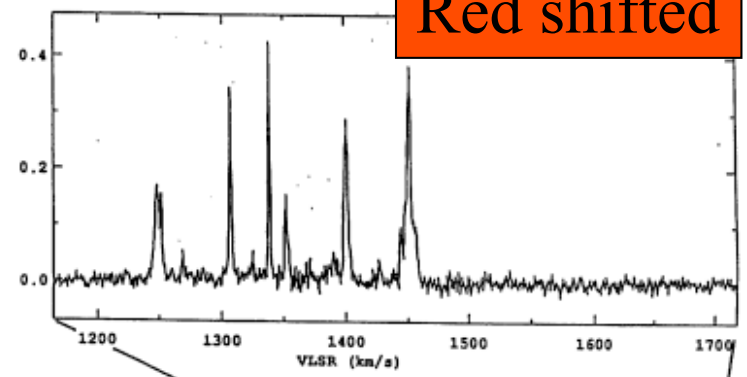
BLUE

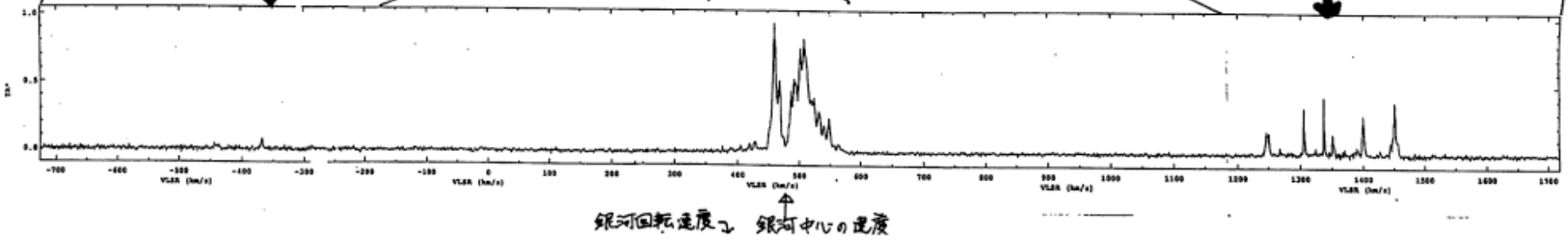
Blue shifted



AGN 現象によって分子ガスが超高速で中心核から噴き出しているのか ?
視線速度 ~ 1000 km/s (銀河面に垂直だとすると ~ 2400 km/s) は分子ガスとしては例がない.
(Cf. M82 の CO 噴出 ~ 300 km/s
N253 の OH 〃 ~ 170 km/s)

Red shifted

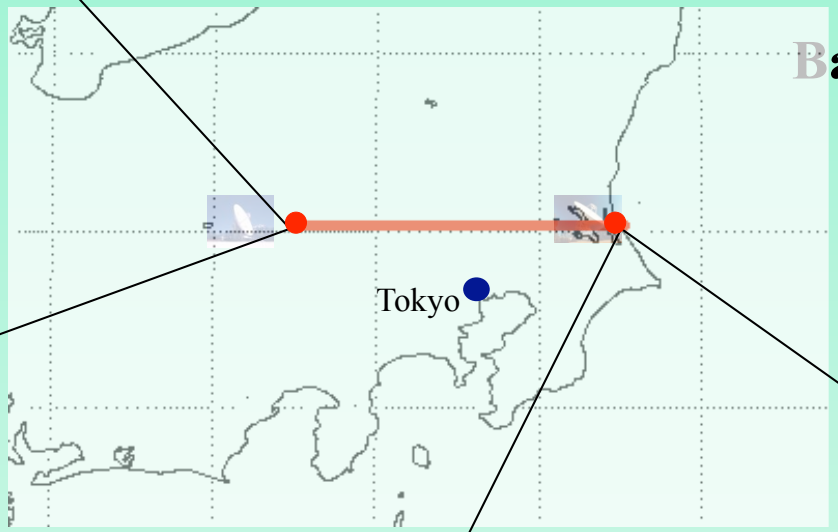




Systemic velocity component

KNIFE

Kashima Nobeyama Interferometer



Baseline length
200km
14mas
(22GHz)

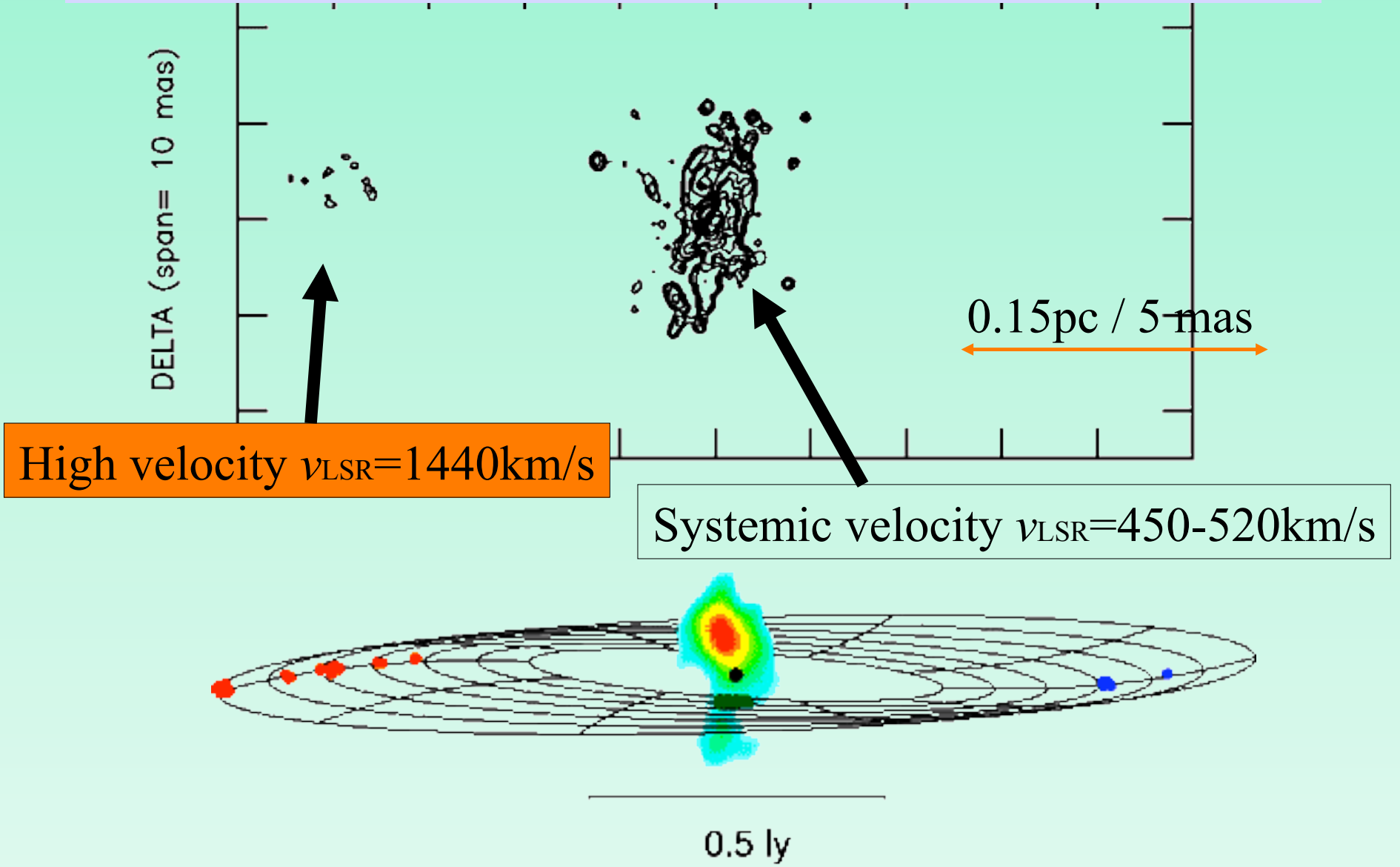
Nobeyama 45m
(NAO)

For NGC4258

モリモト命令で1ヶ月後
92年6月KNIFEで観測。
“千kmだとすぐに固有運動が
でるはず。2回やれ。“

Kashima 34m
(CRL)

The Oldest Map of High Velocity Water Masers in NGC4258
KNIFE Observation in 1992 June



速度計算の間違い（45m鏡）でIF設定ずれる。1IFのみ有効。

KNIFE vs VLBA

For NGC4258

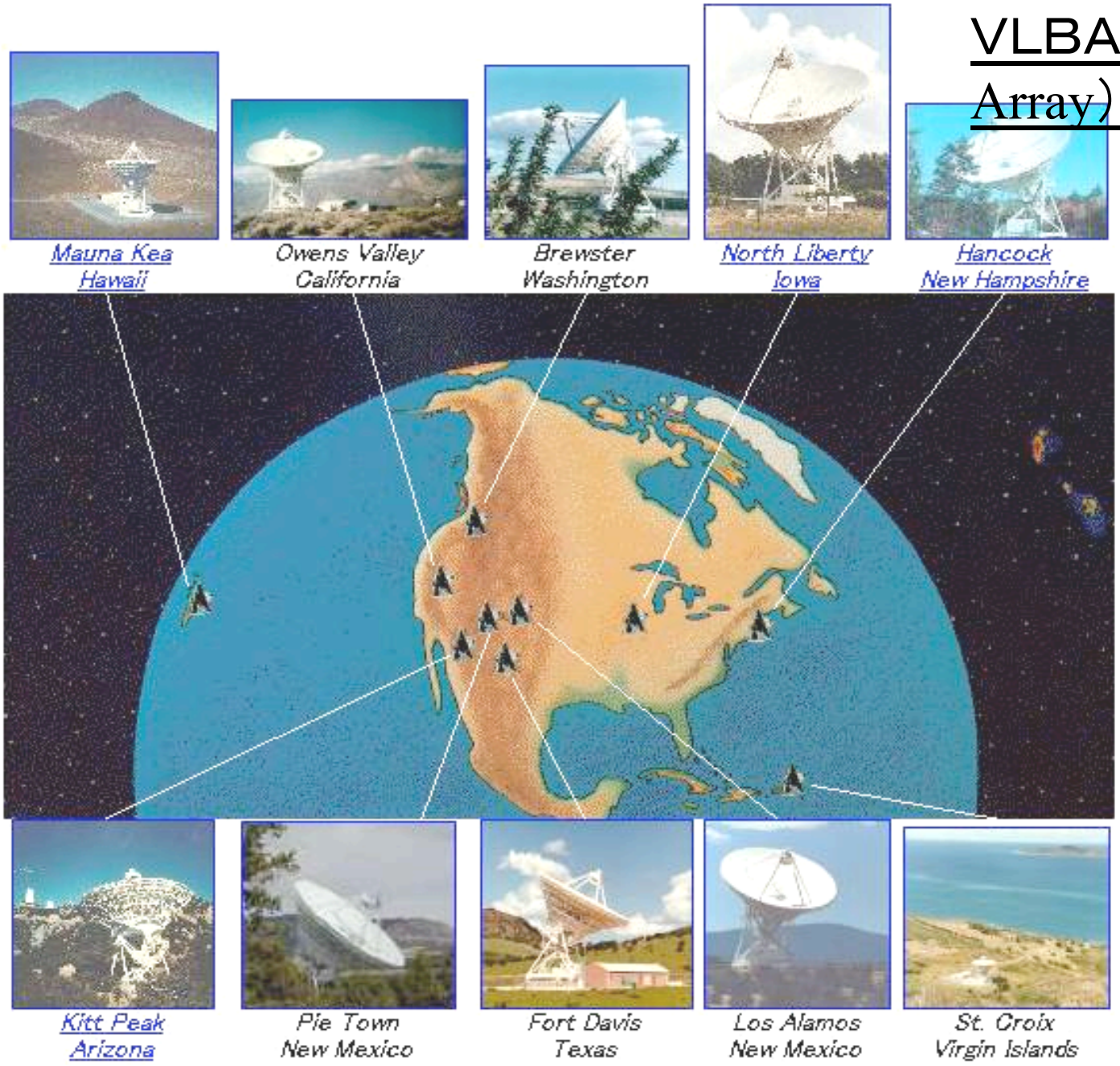
基線200kmでNGC4258の構造は解像できる。現に解像した。

発見確認直後、モリモトさんの指令でKNIFEで観測。IF設定のミスで
多くを逃すものの、構造を把握する観測データだった。
簡コリの未完成が効いた。マンパワーの配分ミス
（D論を一夏放棄してやったが。健太か亀ノンがやれば。。。）。

--- Nakai et al'93と列べて、もう一本Natureの掲載ができたはず ----

KNIFEの4258 もったいないなあ！

VLBA（VLBI Array）



25-m dish

10**stations**

MAX8000km

（min fringe spacing

0．2m a s @43GHz）

300MHz～43GHz

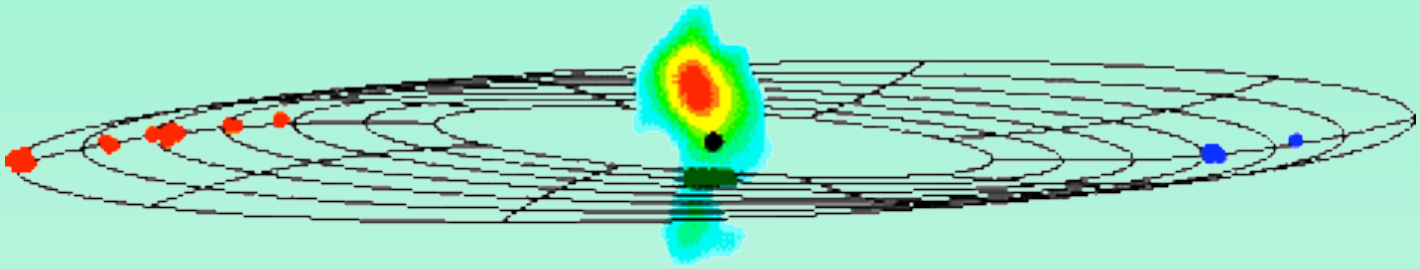
＋phased VLA

1994 April

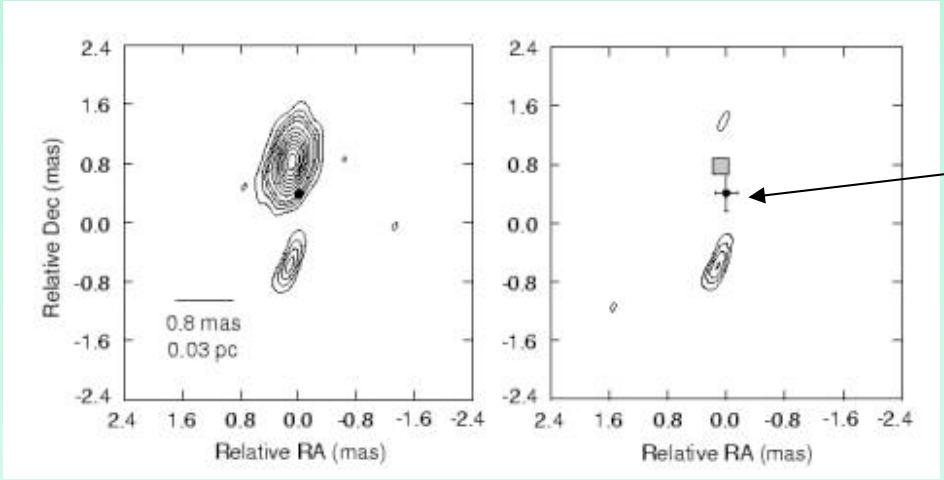
The first observation of NGC4258

The VLBA consists ten of 25m-antennas. The longest base line is about 8000km. Which gives us a resolution of 0.4 milli arcseconds @22GHz obserevation.

弱い連続波成分の検出と描図はKNIFEでは無理。J一Netでも無理だった。最初だったら勝てたのだが。



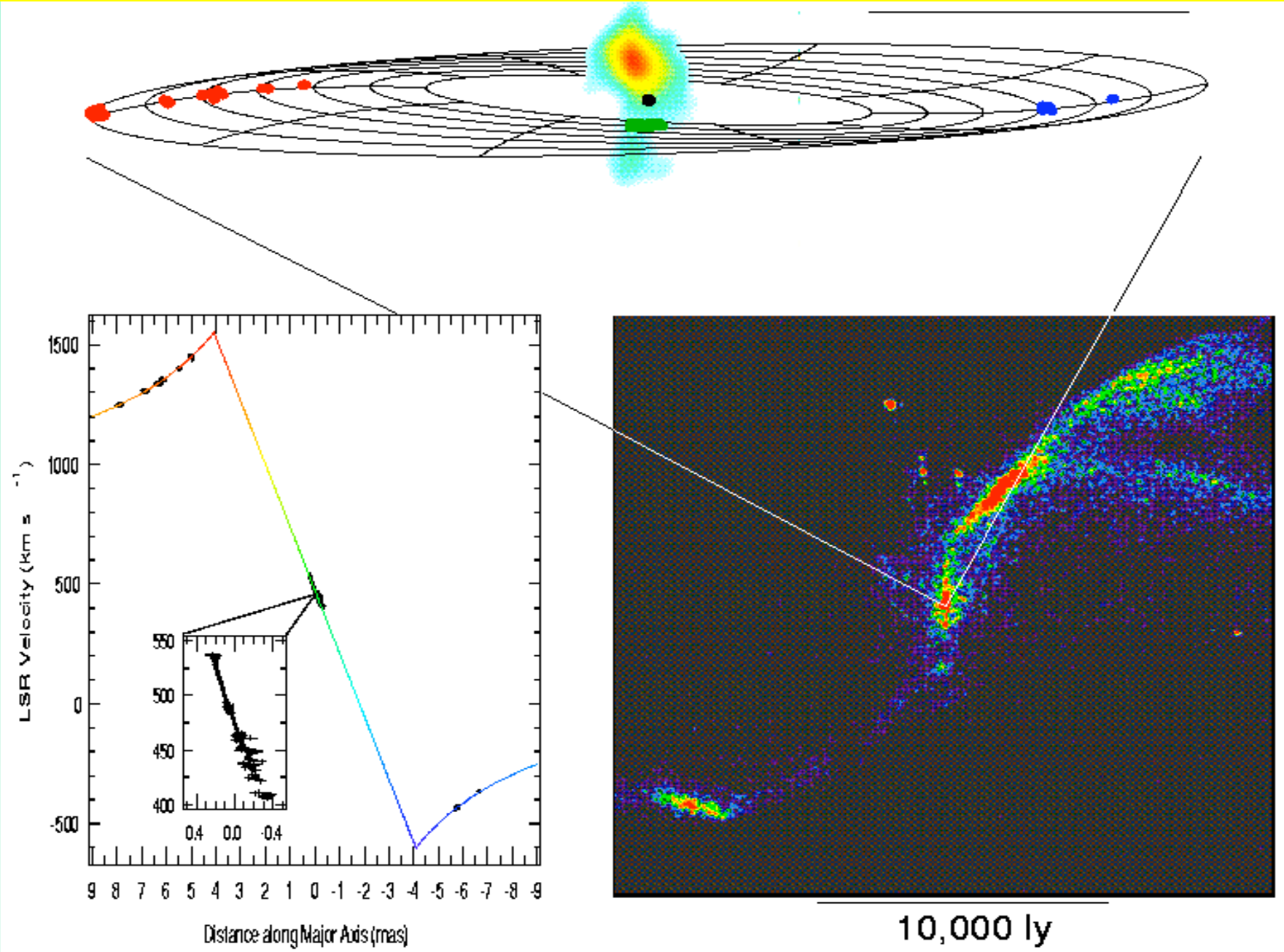
0.5 ly



Dynamical center

Detection of continuum image, not core but jet.
Gravitational center is not luminous. F_{22GHz} <220μJy

ついでにいうと、こんなきれいなメガメーザは他にありません。
これをCfAにあげたことは、国益に反する（人類の知見には貢献）



NROワークショップ

J-Net(国内VLBIネット)の成果報告

期日：１９９９年３月１８日
場所：郵政省通信総合研究所・鹿島宇宙センター

Kagoshima 6m

Mizusawa 10m

Kashima 34m

Nobeyama 45m

共催
国立天文台・野辺山宇宙電波観測所
J-Net 局代表者会議

J－Net
（1993～2002？）

22GHz帯のみ。ついに43GHz帯観測できず。

野辺山45m、鹿島34m、水沢10m、鹿児島6mの4局。
200～1300km基線
“共同利用”ネット

ついにNature出ずじまい。

J-Net：幻のNature（1）

Orion IRC2の構造

望月奈々子　鹿大・修論（‘96?）

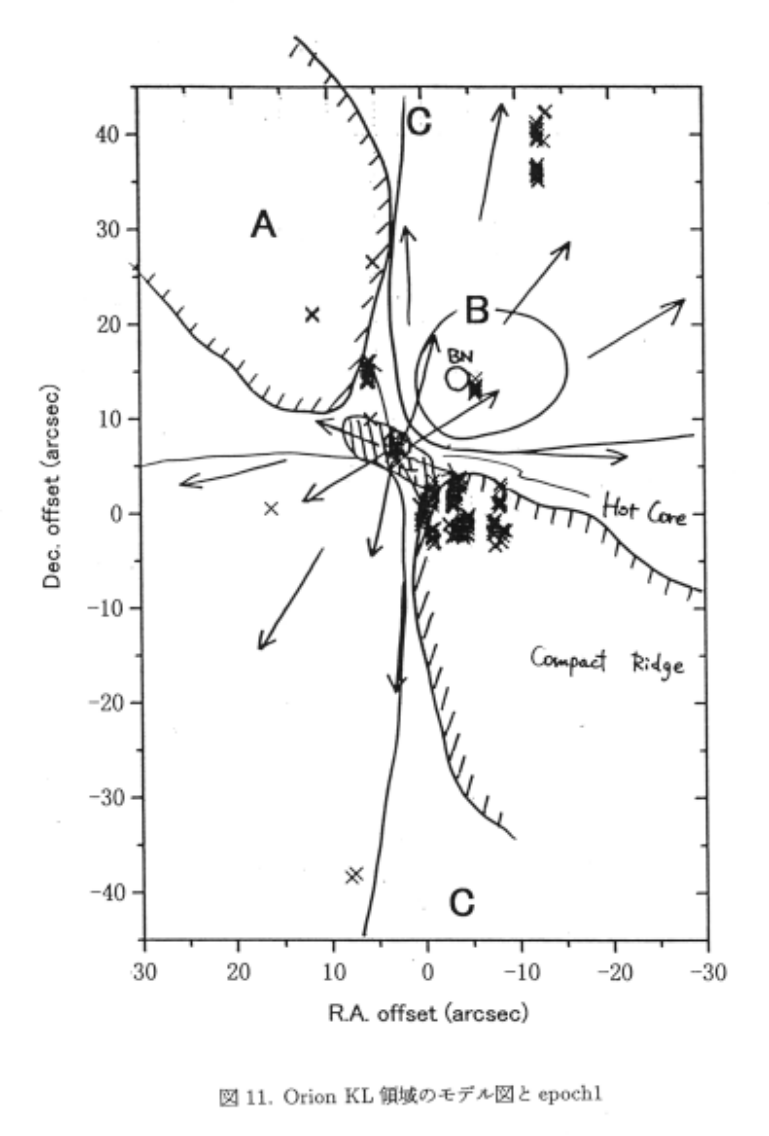
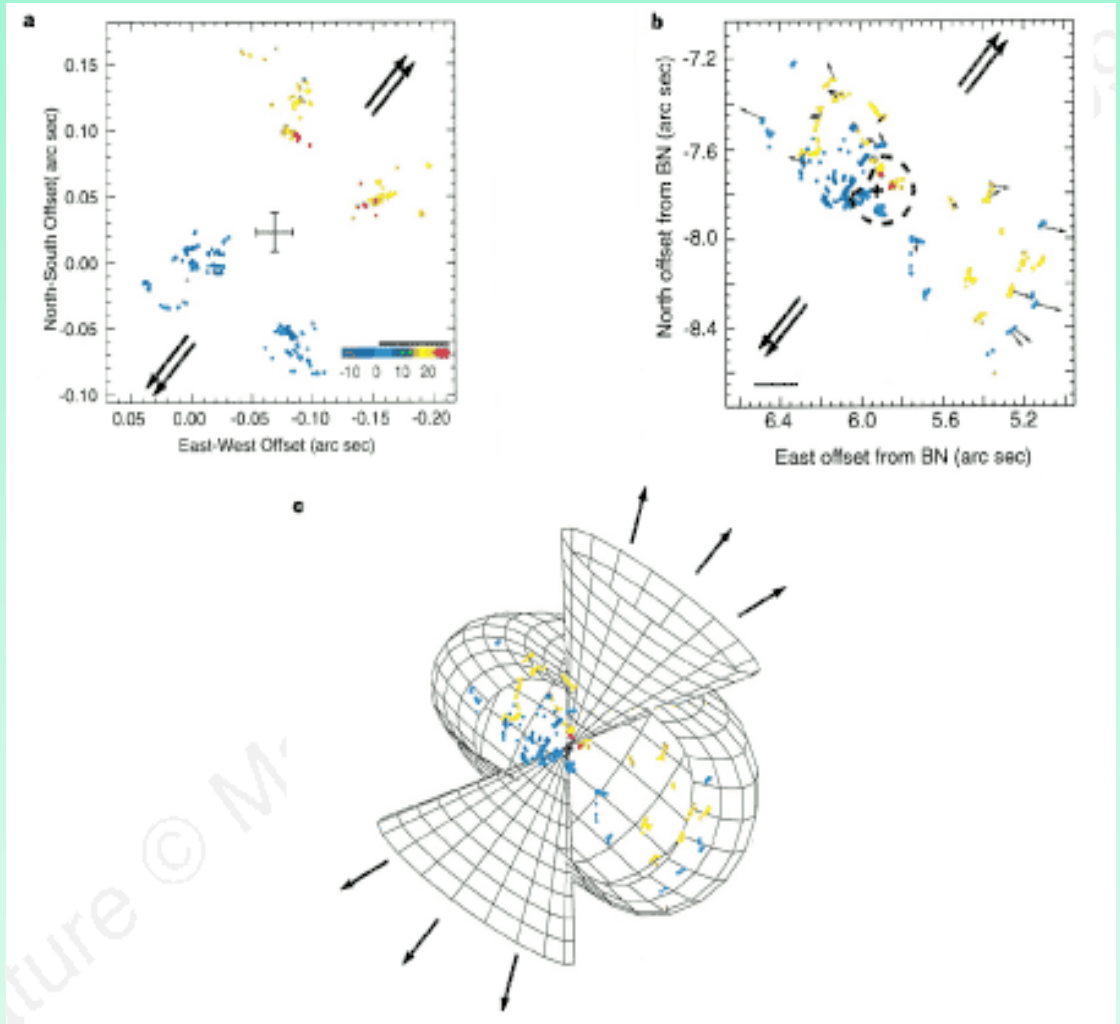


図 11. Orion KL 領域のモデル図と epoch1



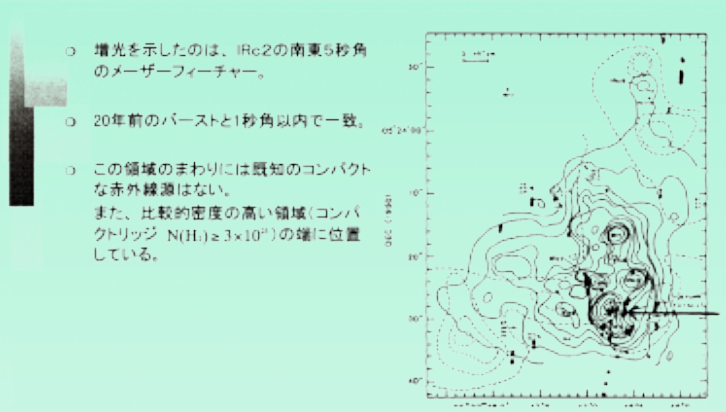
Greenhillら、
Nature, 396,650-653(1998)

J-Net：幻のNature（2）

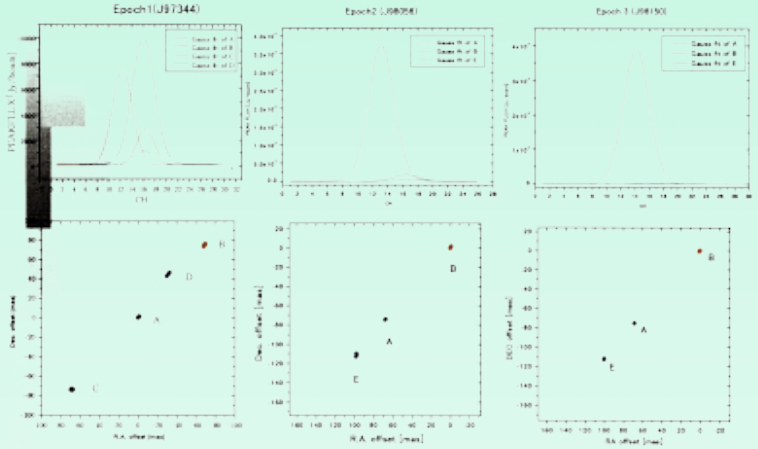
Orionの水メーザバーストモニター

望月奈々子　総研大・D論（‘99?）

バースト領域



結果



当時、マトビエンコらが
通常時のオリオンの
スーパメーザー分布観測をNatureに投稿していた。

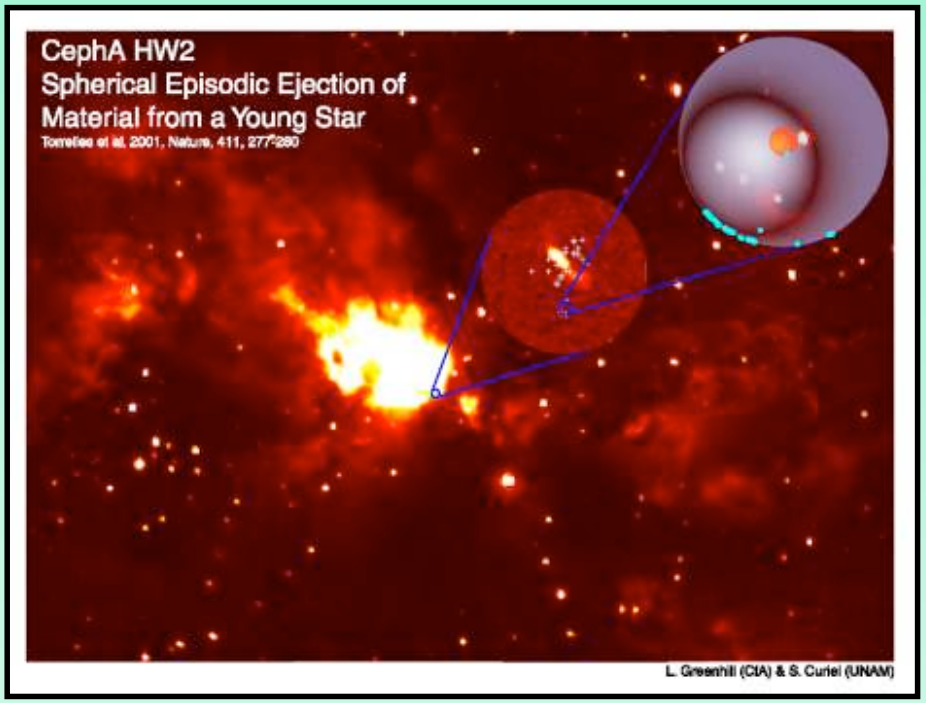
J-Netではバーストの直前からの中期、後期の観測データがあった。

速報すればNatureに載ったはず。

J-Net：幻のNature（3）

望月奈々子　総研大　PI観測

J-Netで十数回観測。北天なので3，4局のuvカバーでOK。結局、解析に着手できず。



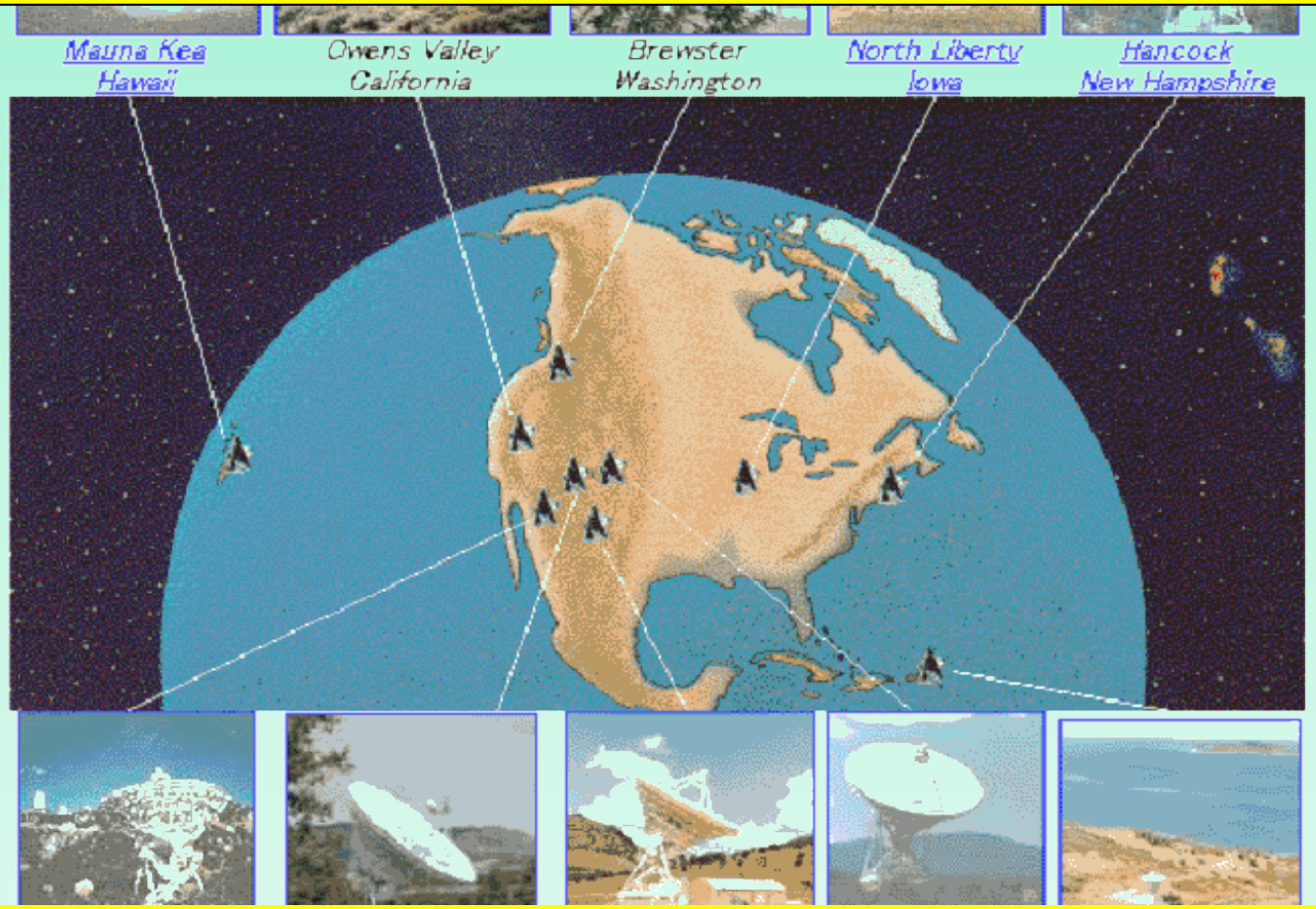
“Spherical episodic ejection of material from a young star”, Torrelles他, Nature, 411, 277-280 (2001).　引用件数43

「Mochizuki論文はNatureに3本があるが、どの話？」
という会話が世界の研究者の間でされていたはず。

- KNIFE(1989-1992）
  当時は**世界最高性能の装置が作れた。**
  未解明のテーマ、新発見があった。
  マンパワー配分の誤り、戦略ミスはもう起きていた。
- J-Net(1993-2002)
  早く解析すれば勝てる観測もあった、偶然の好機もあったが、マンパワー配分、優先度の誤りで戦果を逃す。
- その後。。。。すごい・惜しい成果は何かあります？

- ではVLBAは今も成果ゾクゾクか？……

では、VLBAが良い成果を多数、輩出しているか？というと、そうでもない。NSFの閉鎖勧告は、分野の評価が低いという意味でもある。VLBIパラダイムの有効期限切れ。



25-m dish
10stations
MAX8000km
(min fringe spacing
0. 2m a s @43GHz)
300MHz～43GHz

+ phased VLA

まして今頃、VLBAより劣る装置を新規に作っても天文学としては無価値（ハコモノで飯が食える人はいるだろう）。

分野･組織の賞味期限。

- コッホ炭疽菌培養(1876)～野口英世の死（1928)　52年
- 日露戦争(1905)～大東亜戦争敗戦(1945)　40年
- 緯度観測所、光学観測(1899)～終了(1989)　90年
- 世界初のVLBI(1968)～VLBA閉鎖勧告(2005)　37年
- 電波研VLBI測地成功(1982)～KSP終了(2002)　20年
- 宇宙電波（海部修論1969）～酷評評価(2008)　39年

分野･組織の寿命（＝存在が有意義である期間）は
30～40年くらい。
日本の宇宙電波パラダイムの終焉か？
VLBI分野のそれか？（今後はメシさえ食えれば満足？）
というわけで、
新たな面白いことを考えねばならなくなってきた。

移動式VLBIアンテナについて/その電波観測計画の全体像

ほらいずん望遠鏡

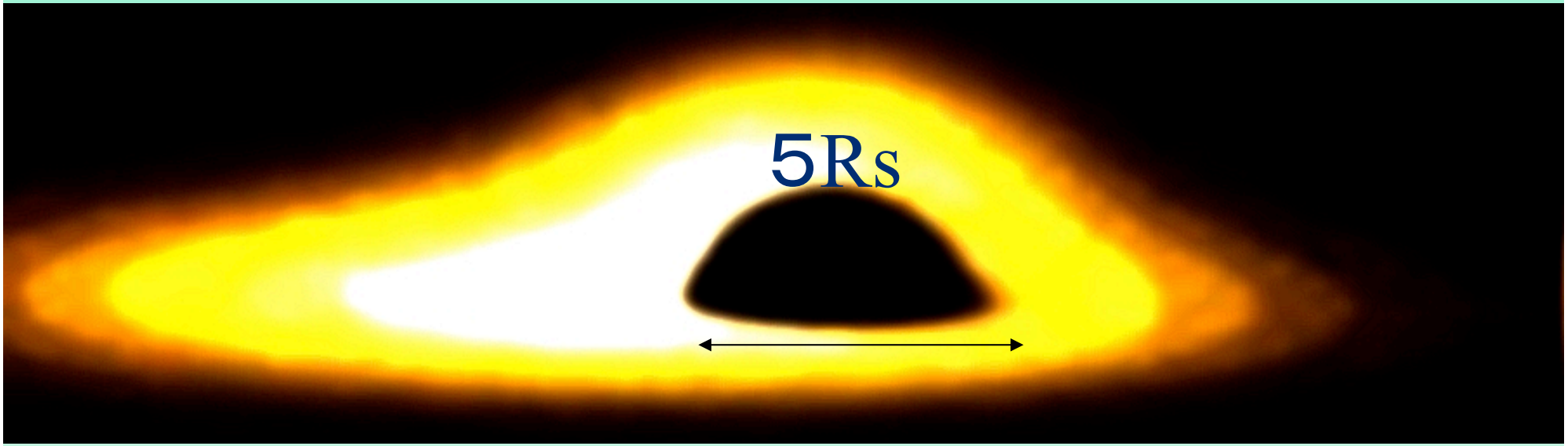
ブラックホールを見てしまおう、という計画です。

三好　真

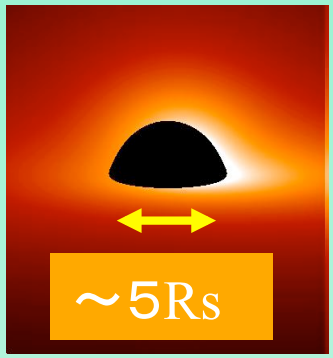
（国立天文台）

2011年3月9日

下）理論的計算からのブラックホール像（福江ら）



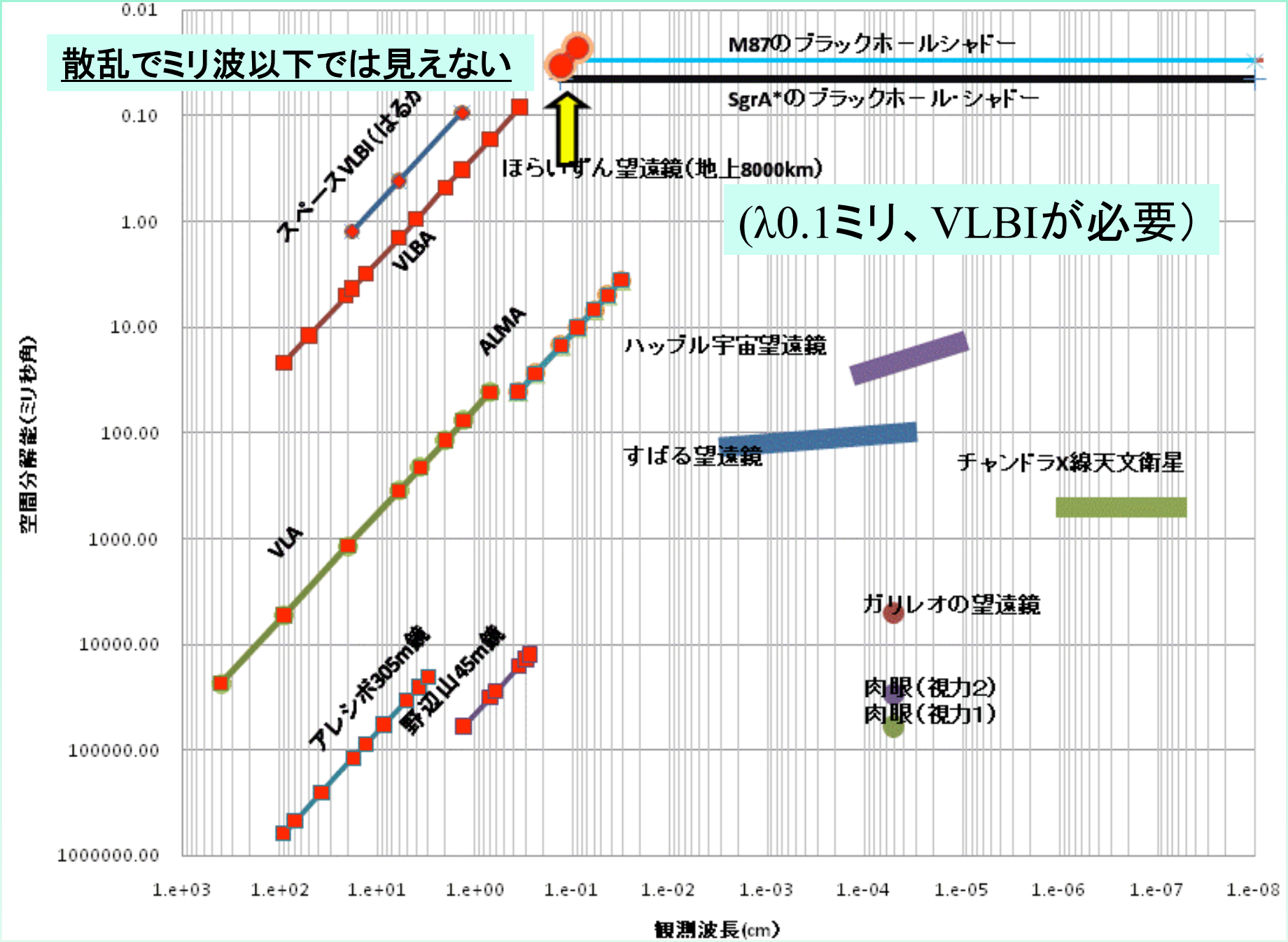
<u>サブミリ波帯のVLBIなら、本当に見えるBH降着円盤</u>
事象の地平線を示すブラックホール・シャドー
その形状はブラックホール・メトリックのみで決まる
＝＞ミリ秒パルサー(＝弱い重力場での相対論検証）をしのぐ
強重力場における一般相対論の直接観測検証場
図：http://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~fukue/より。



距離が遠いと天体小さく見える（見かけの角度）。質量が大きいと、比例してブラックホール半径も大きくなる。両方の効果をかんがえると、見かけ上最も大きいブラックホールはSgrA*の５０マイクロ秒角。

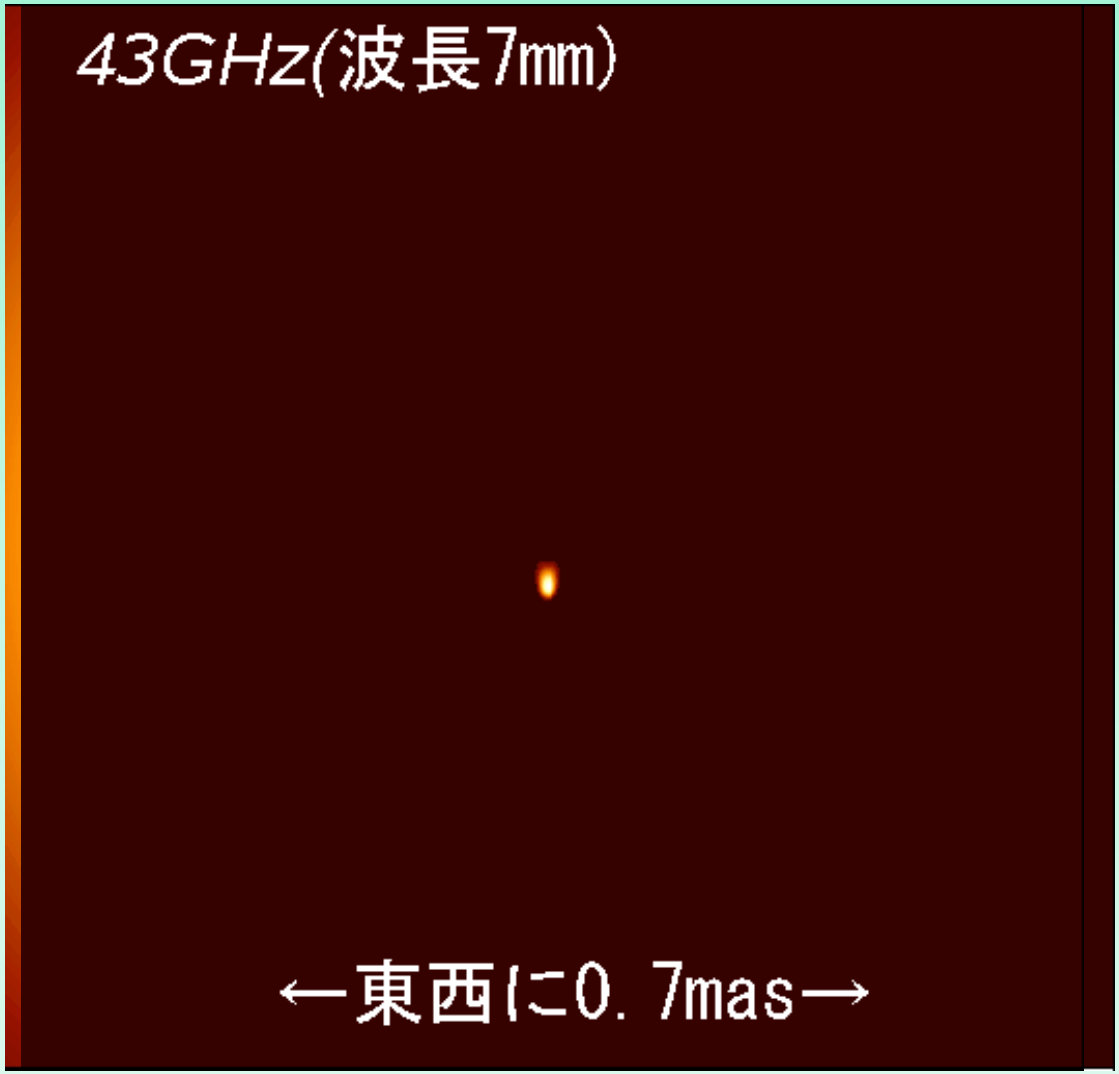
ブラックホール名	質量（太陽の）	距離	ブラックホール半径？（Schwarzschild半径）	その見かけ	黒い穴の差し渡し
架空のBH	1倍	3光年	3 km	0.02 マイクロ秒角	0．10マイクロ秒角
NGC4258	3900万倍	2300万光年	1.2×10^{11} km	0.11 マイクロ秒角	0．55マイクロ秒角
M87	30億倍	5300万光年	9.4×10^{13} km （6天文単位）	3.90 マイクロ秒角	19．5マイクロ秒角
SgrA*	400万倍	2万4千光年	1.1×10^{10} km	10 マイクロ秒角	50マイクロ秒角

各波長の望遠鏡、空間分解能の比較



我々の銀河中心SgrA＊が断然、
“見える”ブラックホールの候補。
（見かけの半径の大きさ、
1Rs=10マイクロ秒角）
だから、これまでも重要視され、
観測されてきた。
で、その結果はどうだったか？

SgrA*のセンチ波からミリ波のVLBI観測が過去に行われてきた。
波長が短くなると小さくなっていくが、黒い穴はまだみえない。



核周プラズマによる電波散乱により、低い周波数では電波像がにじんでしまいます。
にじみ方は
観測波長λ^2に比例して大きくなる。

*5, 8, 15, 22, and 43 GHz でみたSgrA*の見かけの大きさ*
http://www.astro.ru.nl/~falcke/bh/sld10.html

VLBI images of the SgrA* from 5GHz to 43GHz (Lo et al '99)

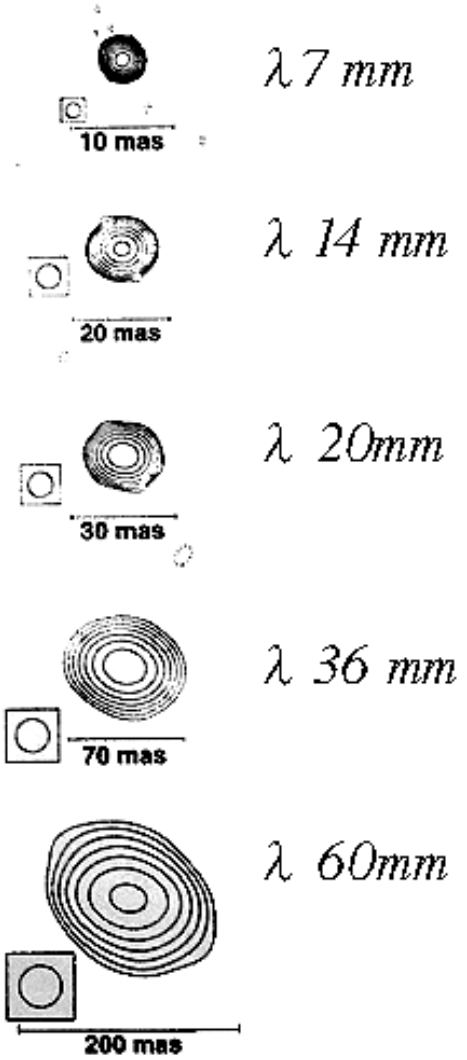
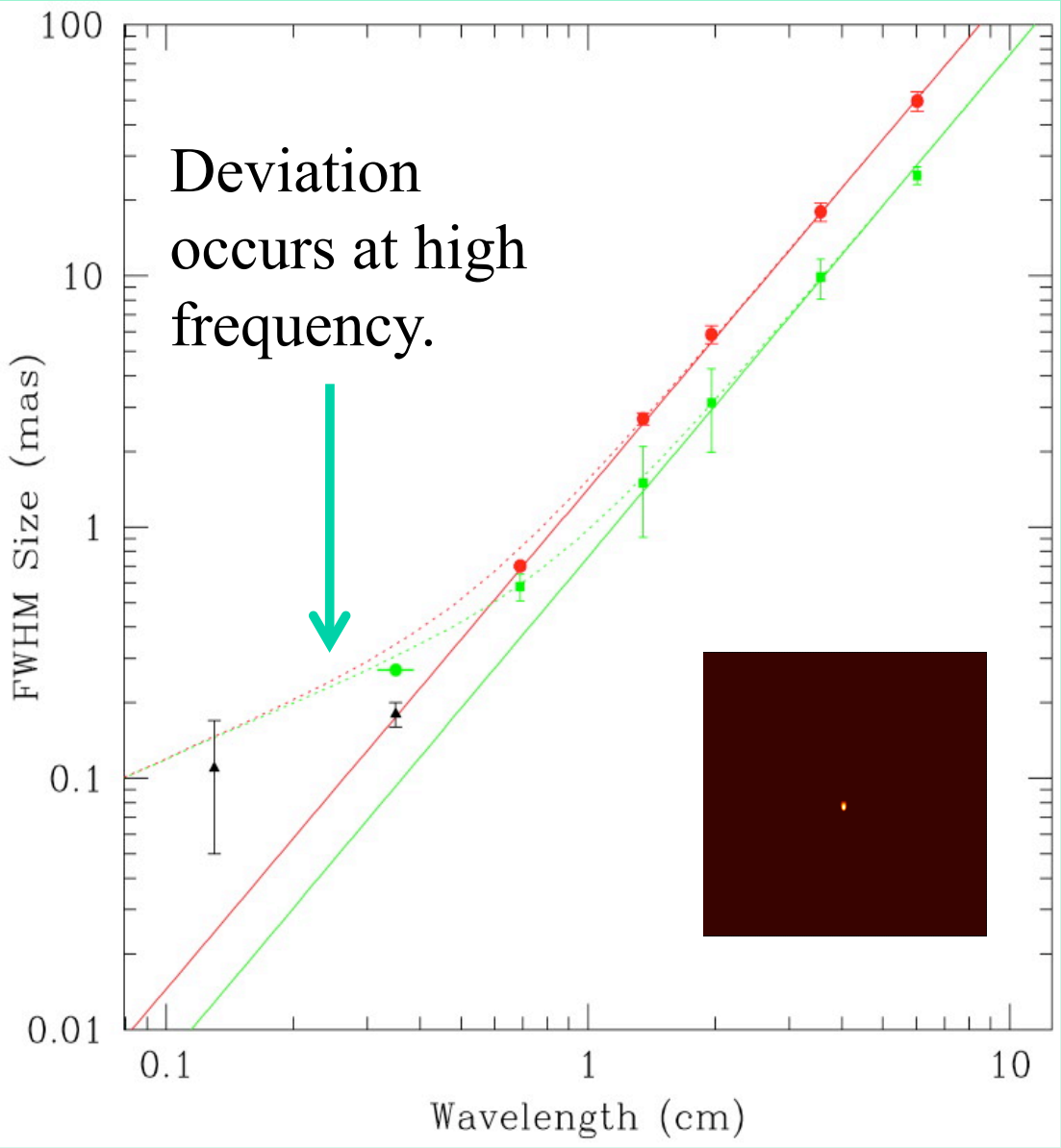


Figure 3. VLBA images of Sgr A* at wavelengths 6.0, 3.6, 2.0, 1.35 cm and 7 mm made with DIFMAP. These images are smoothed to a circular beam of FWHM = 2.62 $\lambda_{cm}^{1.5}$ mas as shown on the left-bottom corner on each image. At 7 mm, FWHM beam = 1.5 mas ~ mean synthesis beam size; and at 6 cm FWHM beam = 38 mas that is close to the mean scattering size at this wavelength. The contours are 2 mJy beam^{-1} × (-2, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256).

The intrinsic image is blurred and broadened because of scattering effect by circum-nuclear plasma.チャンネルが間違っていた！

VLBA,86GHz(3.5mm)
Shen et al. (2004 or later)



Doelman et al.(2001)

Apparent Size of SgrA*

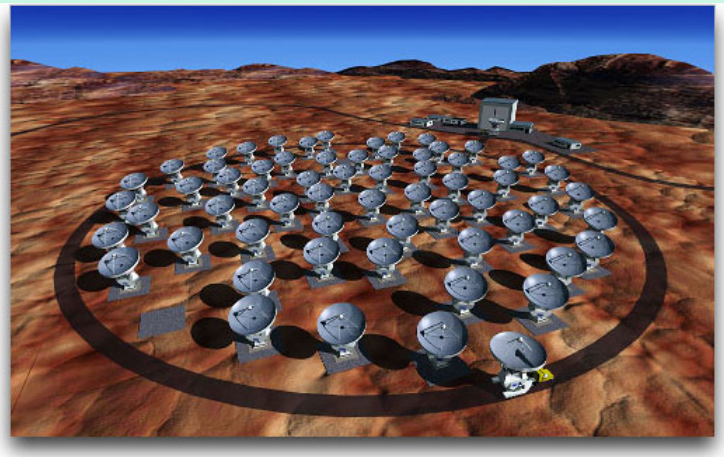
Free from Scattering Effects by Plasma (∝λ^2)

At sub-mm wave length !

So we can expect observe the intrinsic image at mm-, sub-mm wave length.

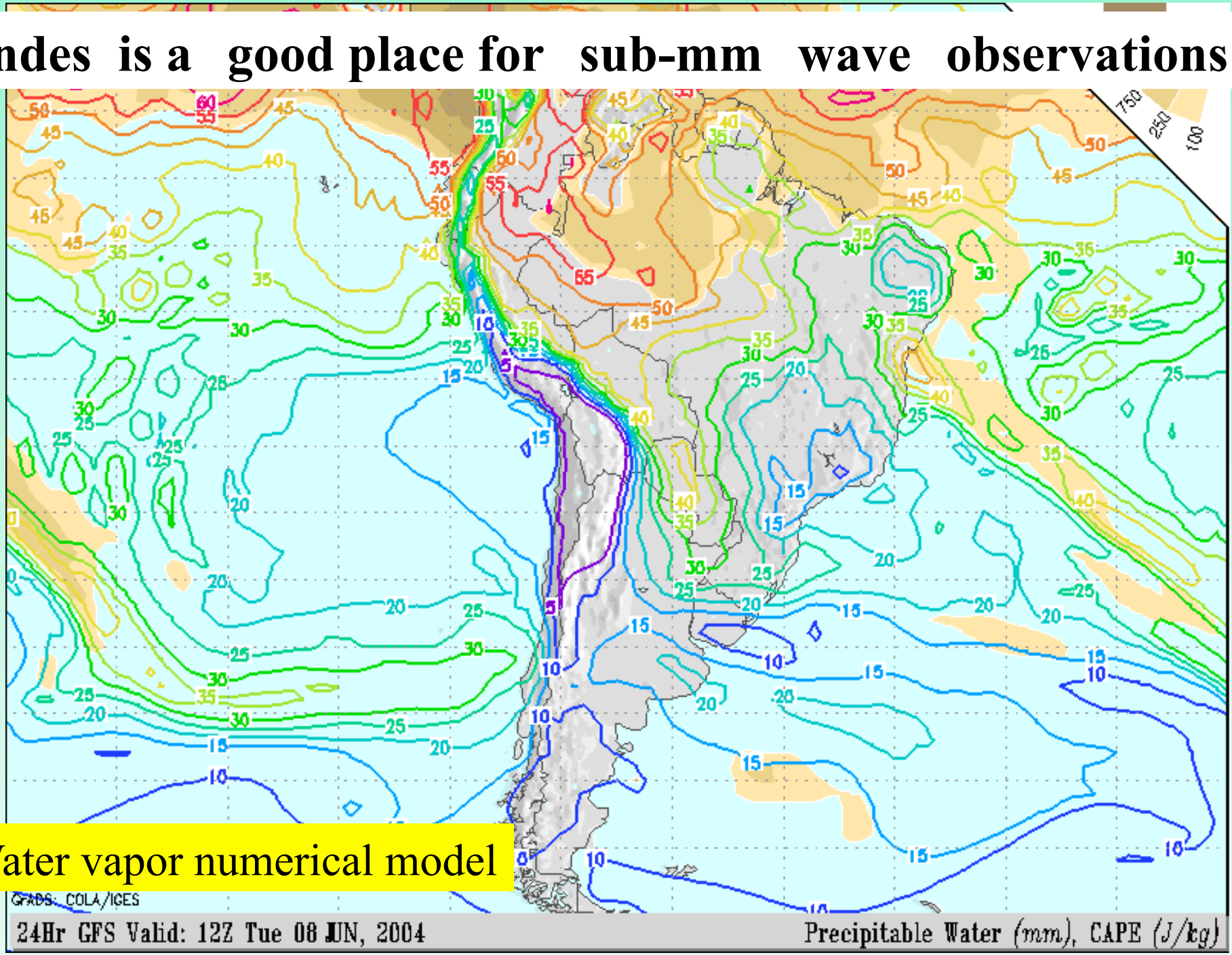
サブミリ波～THzが
ブラックホールの
見えるチャンネル。
（散乱なくなるから）

サブミリ波(～THz)
地上では大気水蒸気に吸収・擾乱されるので、その影響の少ない高地でなら受信可。



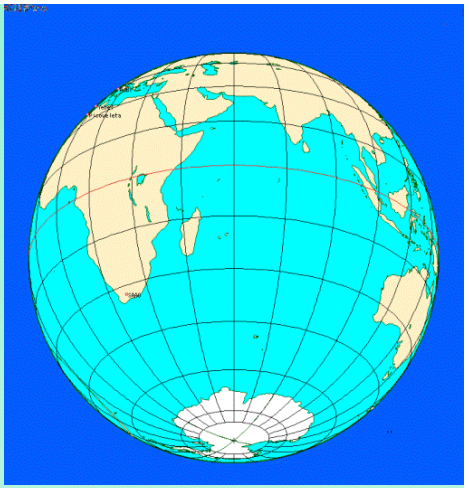
例:ALMA・チリ4800m

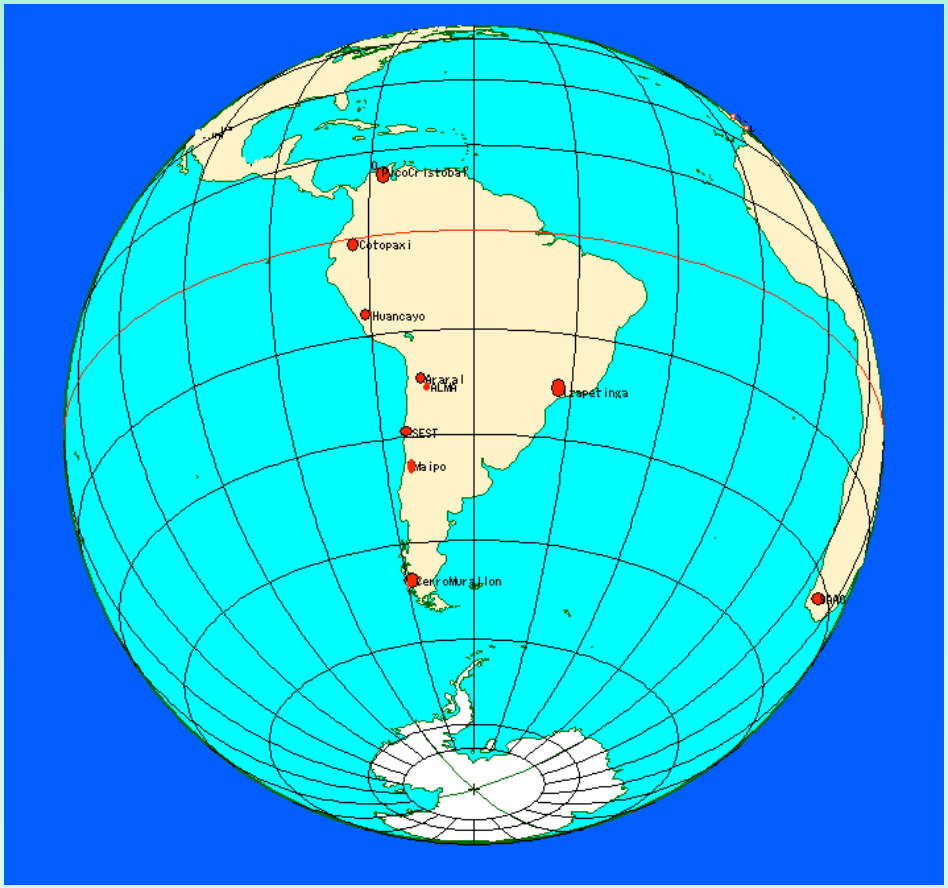
Andes is a good place for sub-mm wave observations

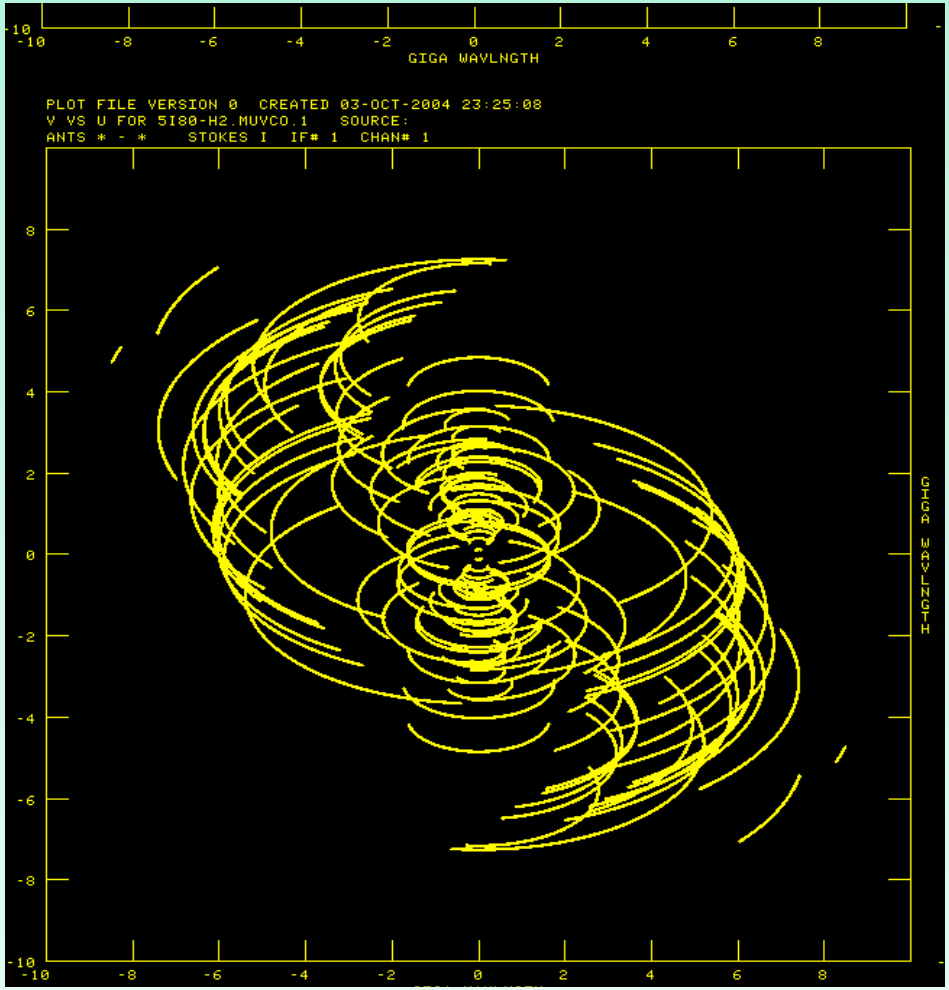


Water vapor numerical model

南半球アンデス中心に10局規模
のサブミリ波帯のVLBIを構築すればよい
（＝ほらいずん望遠鏡）。



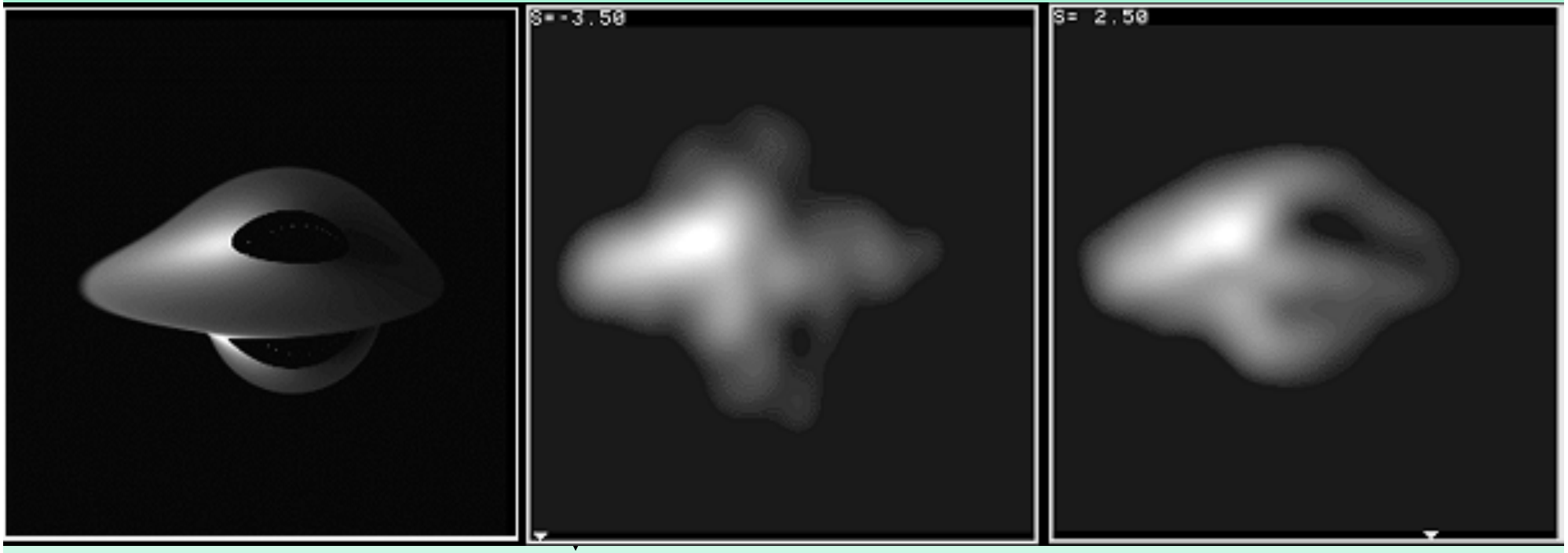




SgrA*
230GHz
モデル像

北半球
VLBA
の配置

南半球サブミリ波
VLBI:
ほらいずん望遠鏡



250 μas

どちらも10局構成、８千kmの広がり。
南半球、ほらいずん望遠鏡の勝ち。

ところが、21世紀の日本は....

「百年に一度の金融危機」(2008)

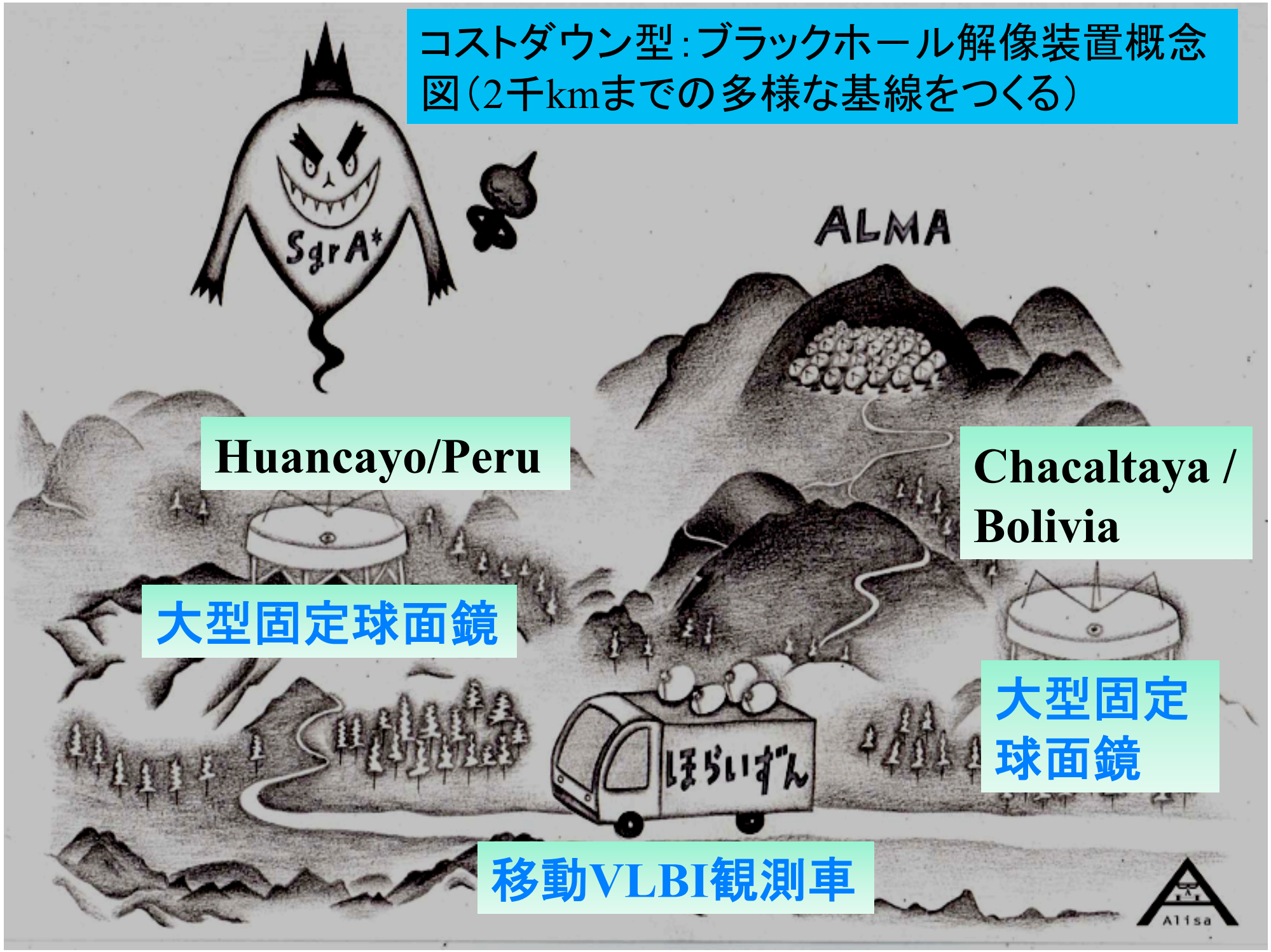
「コンクリートから人へ 」(2009)

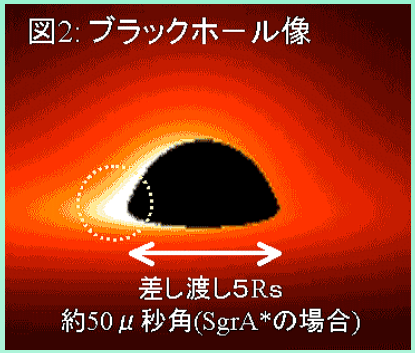
2011/3/1　00:57現在

最速ブラックホール結像装置：キャラバン-sub

「100年に一度の金融危機」「政権交代」
「生活重視の民主党」、「事業仕分け」
に対応すべく、
超低コスト、超高・観測成果の
サブミリ波VLBI装置を考察。目標を
「SgrA*のブラックホールシャドーの検出」
に特化、コストダウン。コスト10億円規模で。

大師堂アンテナのサブミリ波版30m級球面鏡を2基で集光力を稼ぎ、
一方、合成開口4m級のキャラバン局がアンデスを行脚uvを埋める。
露出時間長めの像合成。
不変部分であるシャドーの部分の検出をめざす。
-注：建設費：すばる400億円、ALMA8?00億円


コストダウン型：ブラックホール解像装置概念図（2千kmまでの多様な基線をつくる）
SgrA*
ALMA
Huancayo/Peru
Chacaltaya / Bolivia
大型固定球面鏡
大型固定球面鏡
ほらいずん
移動VLBI観測車
Alisa



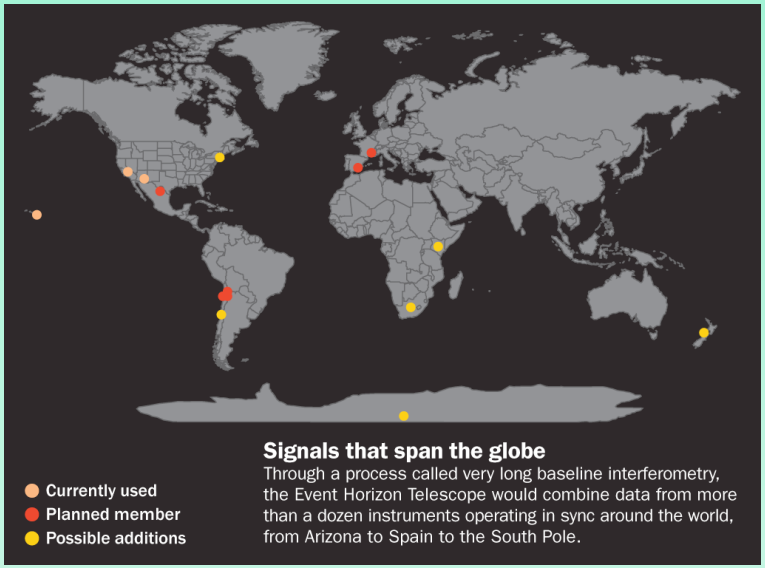
ブラックホールの解像:
我々の銀河中心SgrA*

（VLBIでこそ達成できる、残り少ない重要科学テーマ）

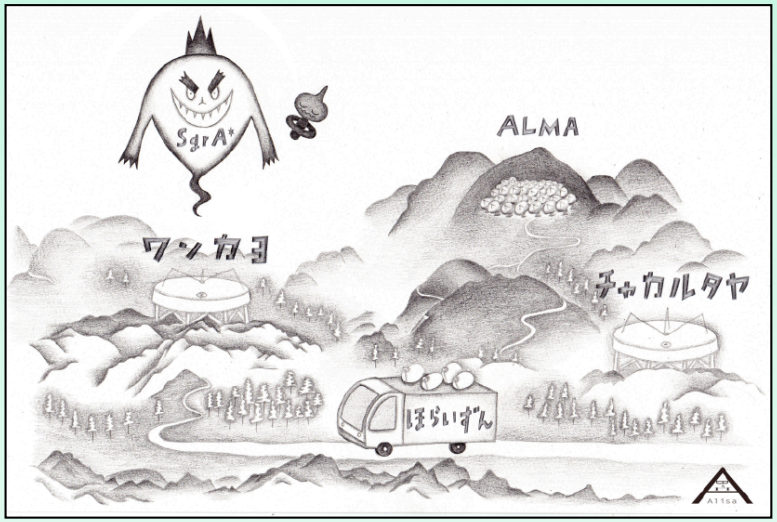
1988年　福江純の計算機内「ブラックホール写真」
1998年　“ミリ波VLBIでは解像出来ない”の認識@GC98
2000年　Falcke、サブミリVLBIなら見えるはず。
2003年　三好@基研シンポ、短基線こそ重要
（約10年前から検討、技術的に可能であることは言ってきた。）
2008年　DoelemanのNature論文、技術の実証。
2010年　「天文・宇宙物理学の展望と長期計画」にも、重要テーマとして記載される。
2011年　NRAO、ALMA試作機をグリーンランドへ。当面、MIT（のグローバル路線）にBH解像を先取される可能性はなくなった。

——ちょっと安心——

Event Horizon Telescope（MIT）



ほらいずん望遠鏡（キャラバン版）



<u>Event Horizon Telescope（MIT）</u>

日本も”ぶらさがり”として参加。VLBIの老舗へイスタックの先導。

長基線が主体。M87（強烈なジェット有り）を狙う？ジェットの研究は確実。ブラックホールは見える？疑問。

<u>キャラバン（日本/ペルー）</u>

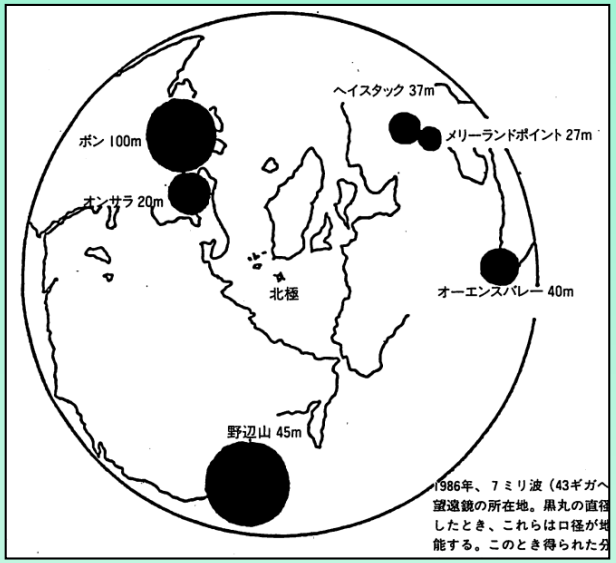
短基線（2千キロ以内）の実現と移動局によるuvカバーの充実。

国際協力も**主導権を握**ってします。SgrA*特化の装置。といいながら

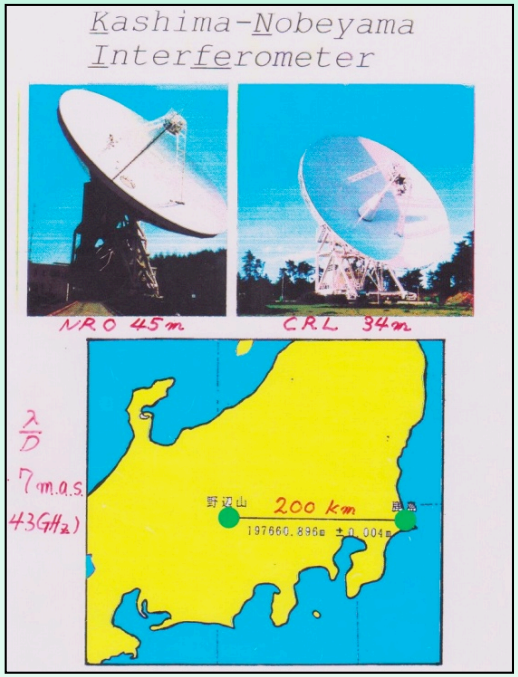
実はサブミリ波帯のメーザ観測も可。基線が短いからです。

10億円レベルで実験的装置（恒久性は乏しい）。

ミリ波グローバルVLBI



KNIFE（鹿島-野辺山干渉計）



‘90年ころの構図に酷似

ミリ波グローバルVLBI（MIT)

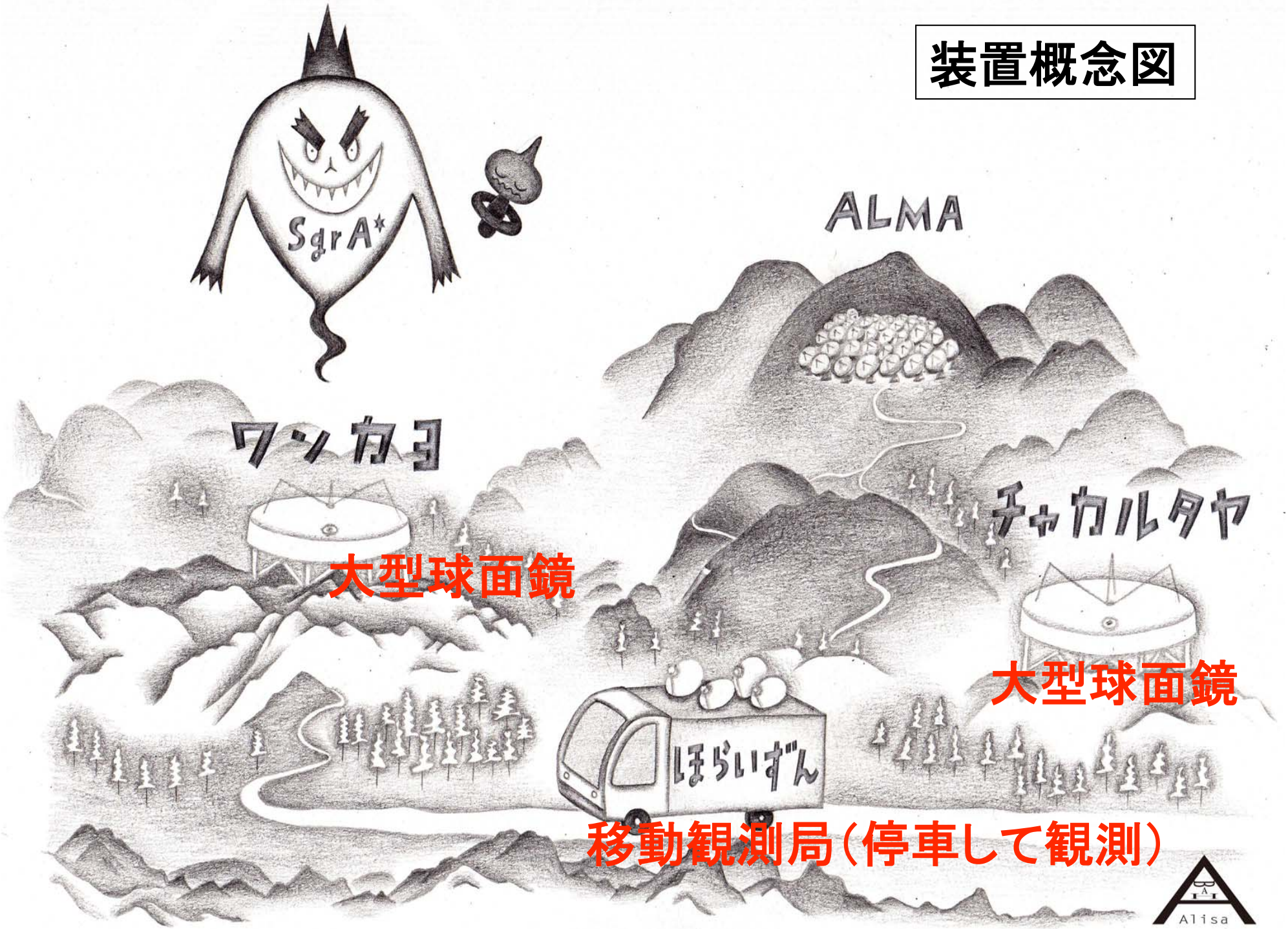
日本も45m鏡で”ぶらさがり”として参加。
分解能50μ秒を達成、先端技術の成果として主にScienceに掲載。
天文学的成果には疑問。
日本人筆頭論文はなし。共著は有り。

KNIFE（森本雅樹の先導）

SiOメーザー、N4258の初観測。
天文学の成果を上げてNatureに掲載。
日本人が確かに研究、日本からの成果をあげる。

長すぎる基線からは科学的成果は出にくい、と思う。

装置概念図



移動するVLBI局、は昔からある。

NiCT 鹿島VLBIニュース

第115号 平成19年12月 5日

独立行政法人情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター
IVS技術開発センター発行
TEL 0299-84-7142 FAX 0299-84-7159
URL http://www2.nict.go.jp/w/w114/stsi/index.html

CARAVAN2400のS/X化に成功！！

図1 新フロントエンドを搭載したCARAVAN2400。かつてサブレフがあった場所に広帯域クワッドリッジホーンアンテナ、高性能常温LNA、ダイプレクサ等を収めている。

図2 2007年12月5日に実施したフリンジテストの様子。手前が新フロントエンドを搭載したCARAVAN2400、後方が34mアンテナ。

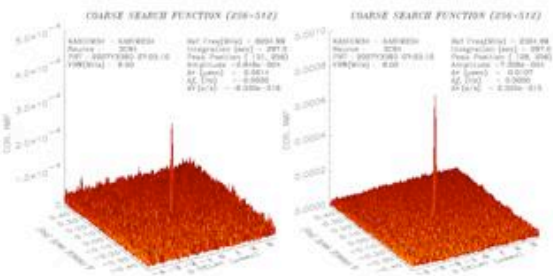


図3 2007年12月5日のVLBI実験で検出されたクワッドリッジホーンアンテナによるS/X初フリンジ(左がXバンド、右がSバンド)。

本VLBIニュース107号でも紹介しましたが、NICTは国土地理院と共同で、GPS比較基線場検定用の超小型VLBIシステムの開発を進めています。このシステムは、大型アンテナと組み合わせたVLBI観測を行い、超小型アンテナどうしで結ばれる約10kmの基線長をRMS2mmで決定することを目指しています。この測定精度を達成するためには、できるだけ既知の誤差要因を取り除くことが重要で、その意味で電離層内での位相速度が周波数に依存して変化する“伝播遅延誤差”軽減のため、フロントエンドのS/X化が不可欠です。

これまでに、CARAVAN2400をテストベッドとして、広帯域クワッドリッジホーンアンテナ(図1)と超小型で高性能の常温LNAを用いたフロントエンドの開発を進め、2007年12月5日に34mアンテナとCARAVAN2400との間で、S/X双方での初フリンジ検出に成功しました(図2、3)。今後、開発したフロントエンドを用いた測地実験の実現に向けてさらに開発を進めていく予定です（RI&AI記）。

小型高精度アンテナの発想も、もともとある。

ミリ波サブミリ波電波の信号を受信するためには、高精度な鏡面をもつパラボナアンテナが必要である。

我々はシュミレーション解析を行い、パラボナアンテナにおける重力、熱、風などによる変形の最適化構造を設計した。

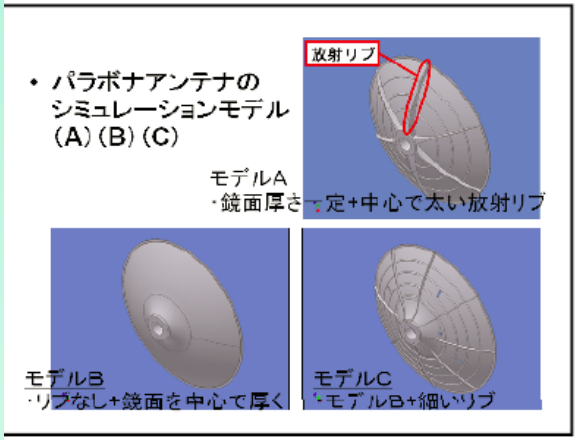
これをもとに、アルミ鋳造で本体の製作を行い、鏡面は切削により形成する方法を開発した。

これにより従来より経費、時間差を大幅に削減した。

高精度パラボラアンテナ

- 高周波帯での観測に向け、高精度の口径2mの主鏡の開発を行う。
- 鏡面精度目標は 40um r.m.s
- 重力、風、熱による変形をANSYSで検討。

- パラボナアンテナのシミュレーションモデル (A) (B) (C)



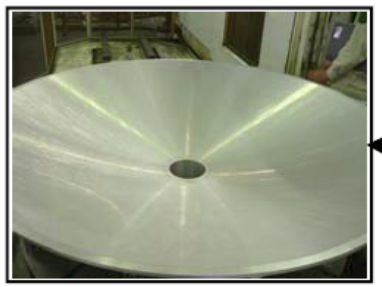
シミュレーションをもとに

リブ等の構造を決定 (モデルCを採用)

鋳造により本体製作を行うための木型(実際には発泡スチロール)の製作

アルミ(AC4C)鋳造により作られたパラボラ鏡面

旋盤により鏡面を切削加工



出来上がり 鏡面の誤差30ミクロン達成！

Kasuga (Hosei Univ) starts investigation for further cost down with NAOJ.

大学院理学系研究科 物理科学専攻 小川 英夫
ミリ波テラヘルツ波研究所
E-mail : ogawa@p.s.osakafu-u.ac.jp TEL : 072-254-9726 FAX : 072-254-9726

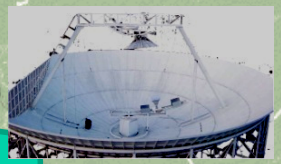
最大口径の(単一）電波望遠鏡は固定球面方式
（アレシボ305m）

大型球面鏡も日本にあります。

Spherical main dish has no exact focus, but by a use of aspherical sub-reflector, we can get a focus. By shifting sub-reflector we can track objects for several hours. Fixed main dish is free from deformation by EL tilting. Surface shape is common -easy to make.

ワンカヨ32m
センチ波（通信アンテナ）
現在イシツカさんが
立ち上げ中

ペルー
ワンカヨ
3300m



1000km

ボリビア・ラパス近郊5300m
世界最高所のスキー場、宇宙線研究所

チャカルタヤ

ALMA

ラ・シラ
2400m
旧SEST15m鏡
受信器以降がない！

Chacalyata Cosmic ray Observatory（標高5300m , La Pas, Bolivia）訪問(09年11月)

・アンテナ設置、歓迎。

（協力：IGPイシツカ氏）

90年物PC98VXが現役

Observatorio de *Huancayo, IGP*

Instituto Geofísico del Perú
Sector Educación

Latitud: −12.037875° N −1.80° N
Longitud: 284.681633° E −3.46° E

Altitud: **3336.0 m**.s.n.m.

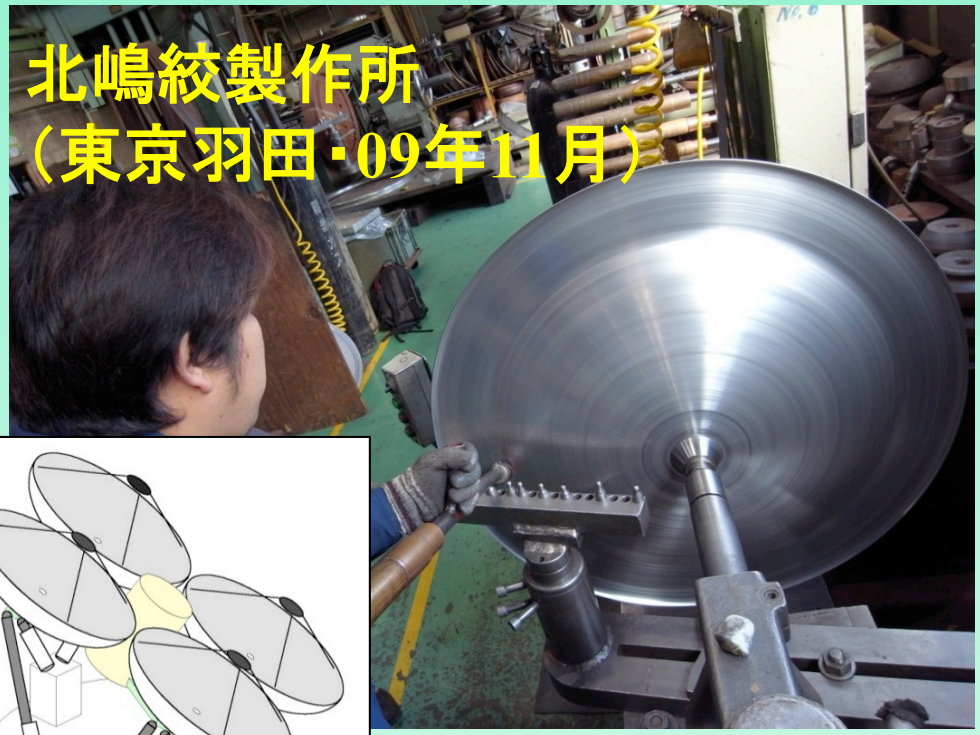
こちらも日本とのつながりの
深い観測所。

イシツカ氏の故郷
地球“磁場の赤道”直下

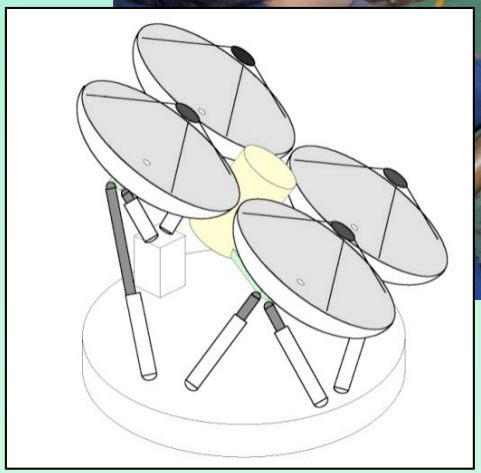
32-m telecommunication antenna
-- Not for sub-mm observation --

「絞り」によるアンテナ試作。
鏡面精度測定、研磨・鏡面修正で、100ミクロン目標

技術センター三ツ井さん



北嶋絞製作所
（東京羽田・09年11月）



春日式複合鏡

4万円の絞りアンテナで、既に62ミクロンr. m. s.を達成（鏡面単体）

「サブミリVLBIのための鏡面パネルコストダウン研究」 開始。（春日PI：国立天文台・先端技術センター利用）

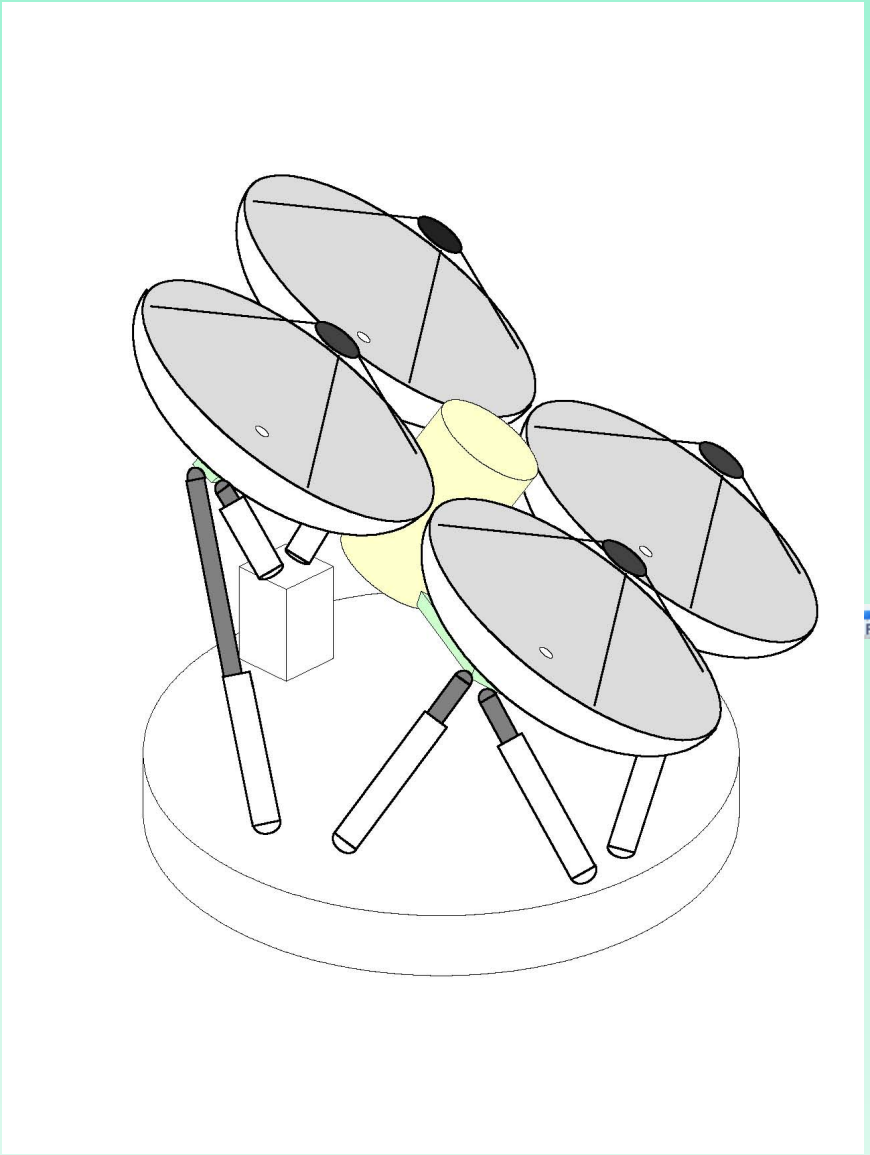


図:複合鏡概念図
春日隆さんが
駒場(3/7,8,9)で
話す予定。。

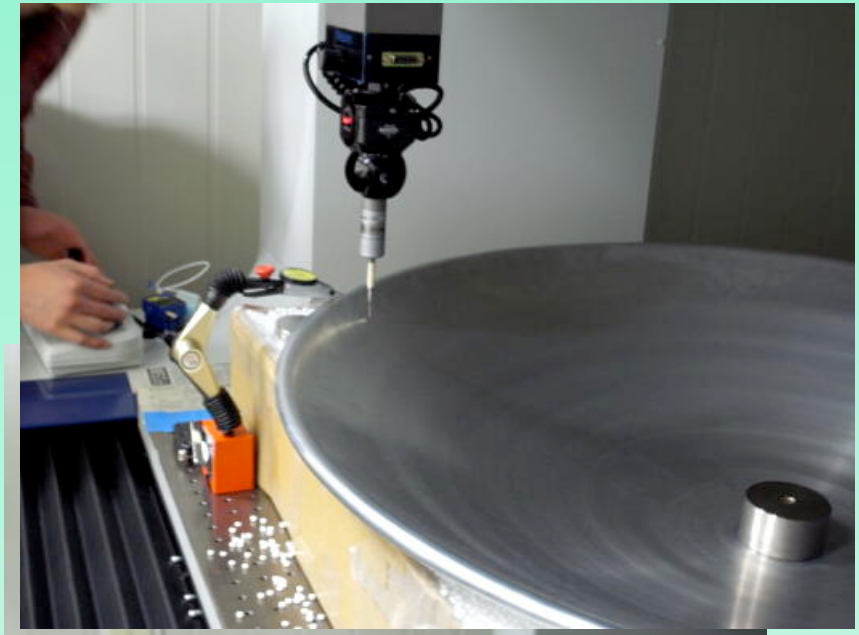
アンデス山地道路幅から
素子アンテナサイズが
2m以下と決まっています。

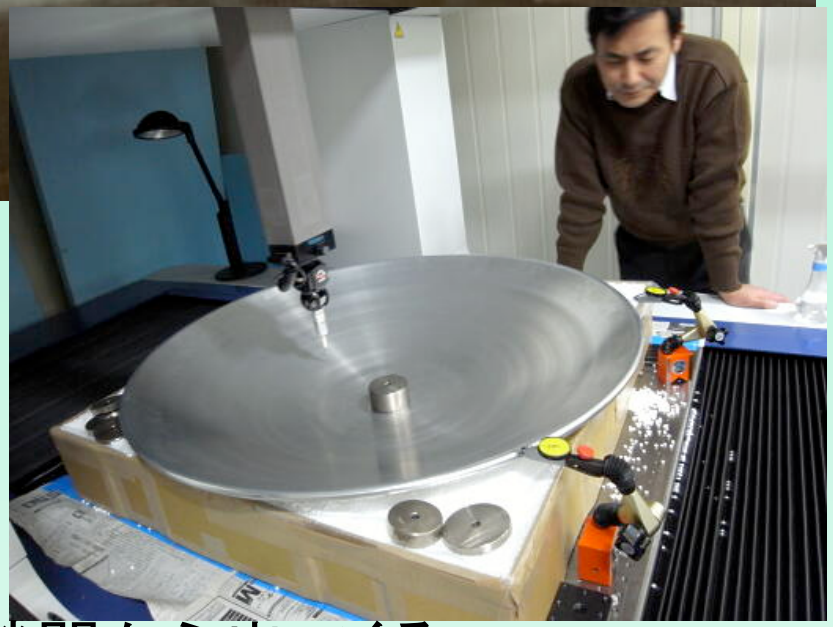
北嶋絞製作所（東京羽田・09年11月）

「絞り」による94cmアンテナの製作。鏡面精度測定、研磨による鏡面修正を繰り返し、100ミクロンまでいくか？(=2009年当時）（2010年秋、60ミクロン測定）

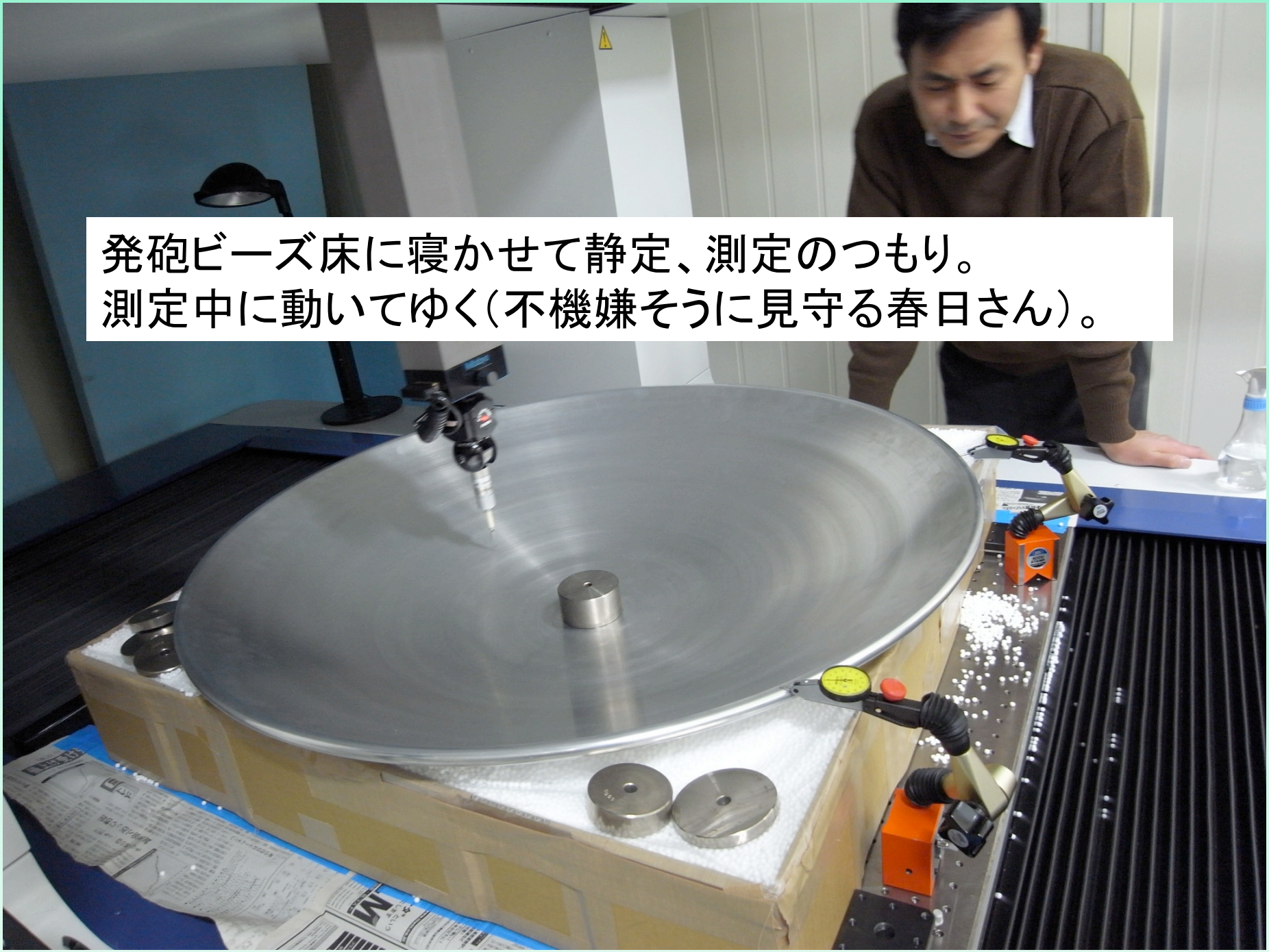
「サブミリVLBIのための
鏡面パネルコストダウン研究」 開始。
（春日（法政大）PI：国立天文台・先端技術センター利用2009年秋から）

NAOJ先端技術センターの3次元測定機
１ｍ＊60cmの大きさを1ミクロン精度で計測可。
（光学レンズ・鏡を測るためのもの）

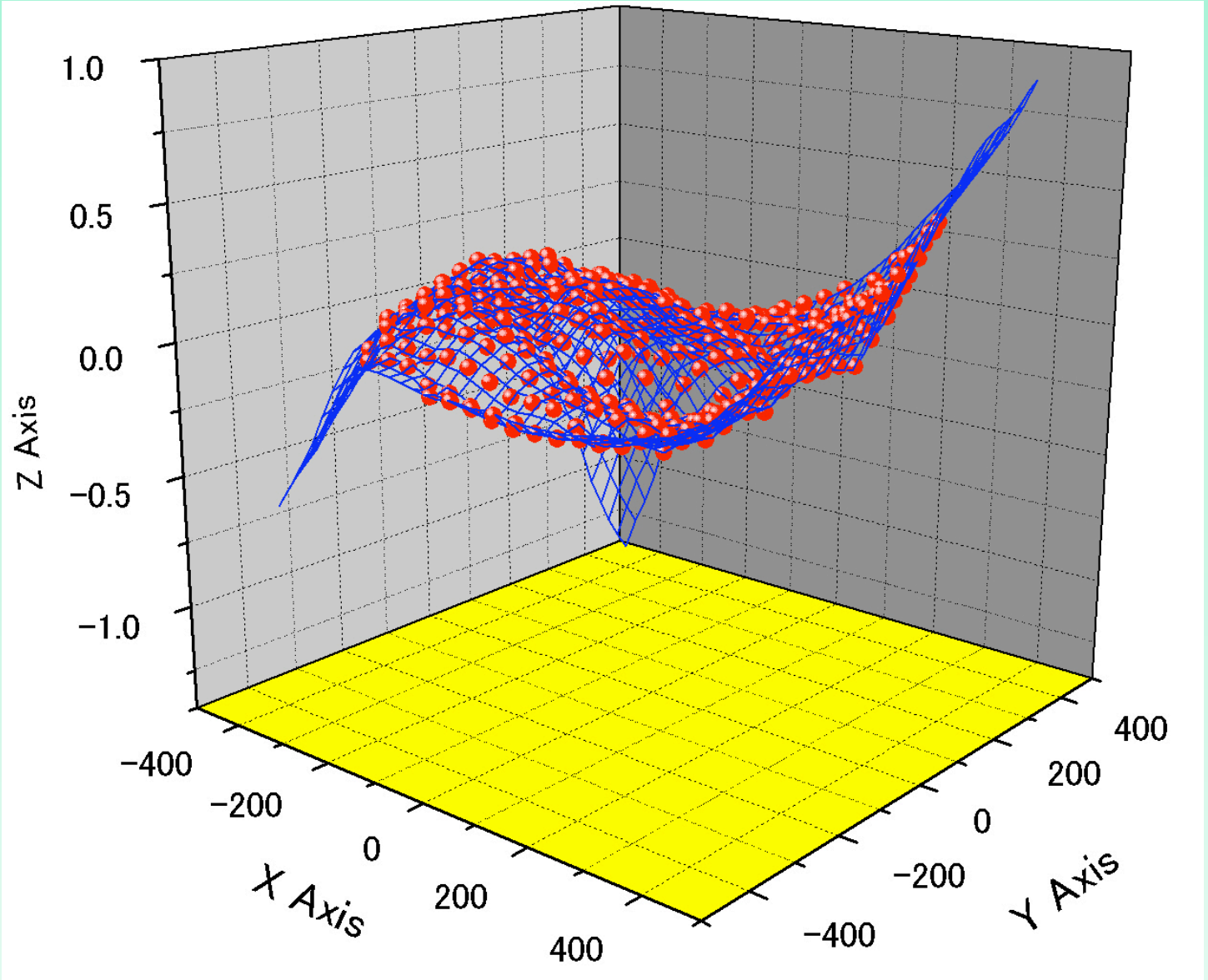


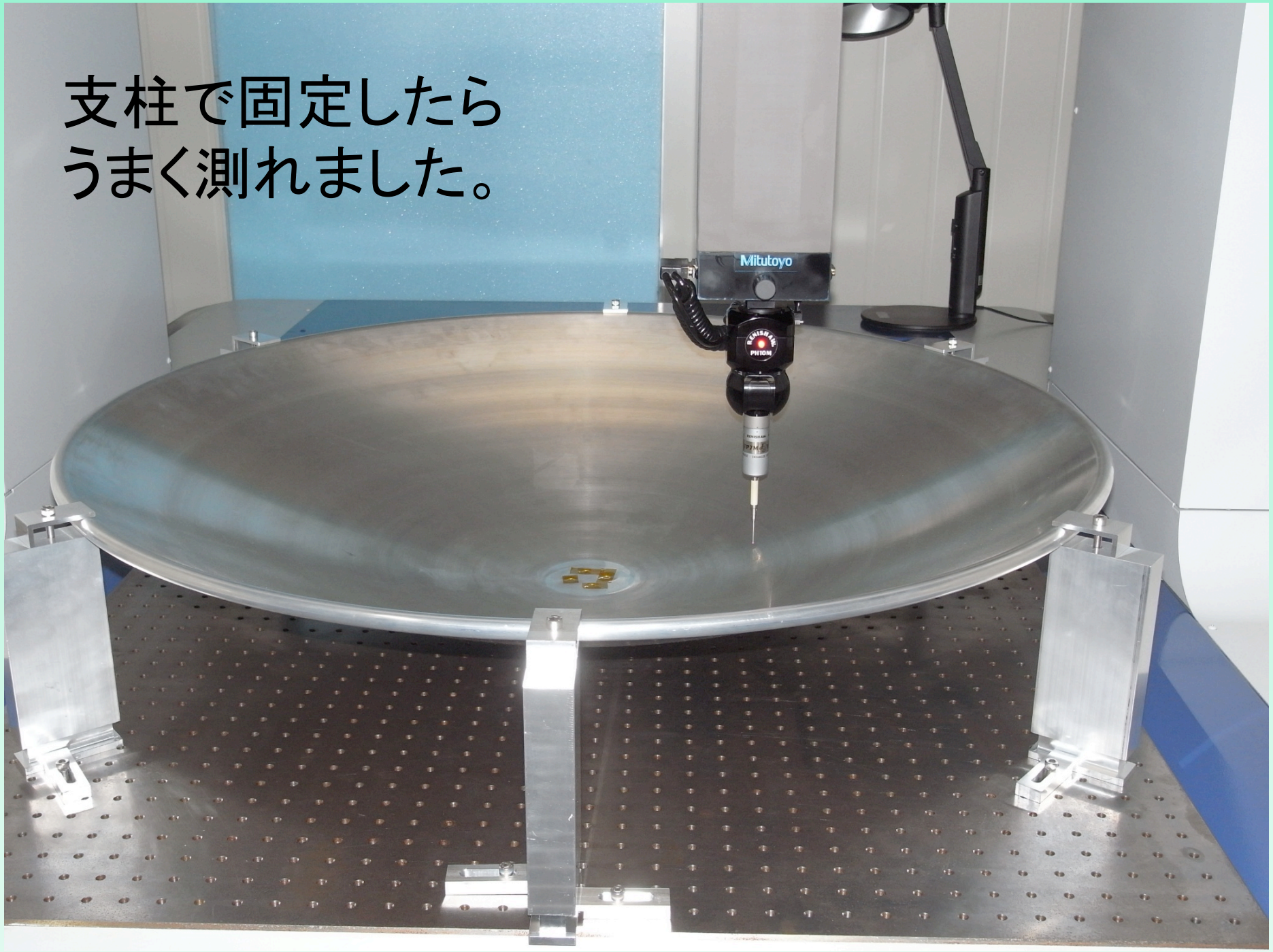


ビーズが隙間から出てくる。
しっかりふさぐべきだった。
春日氏側の鏡面部分がどんどん沈み込む。
プローブの接触で40ミクロン程度変化する。


発砲ビーズ床に寝かせて静定、測定のつもり。
測定中に動いてゆく(不機嫌そうに見守る春日さん)。

全体的に3次関数群で示せるゆがみがある。
“計測誤差”と“鏡面誤差”の区別がつかない。
それでもトータル残差120ミクロンr. m. s.を計測、確認(2010年春)。



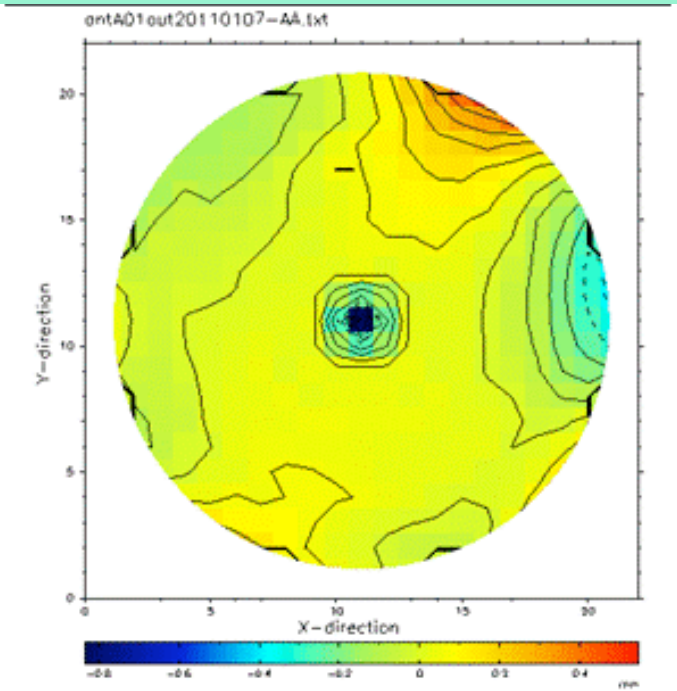

支柱で固定したら
うまく測れました。
Mitutoyo
PH10M

放物面フィット残差

薄いアンテナの方が
精度が2倍良い。
約60ミクロン

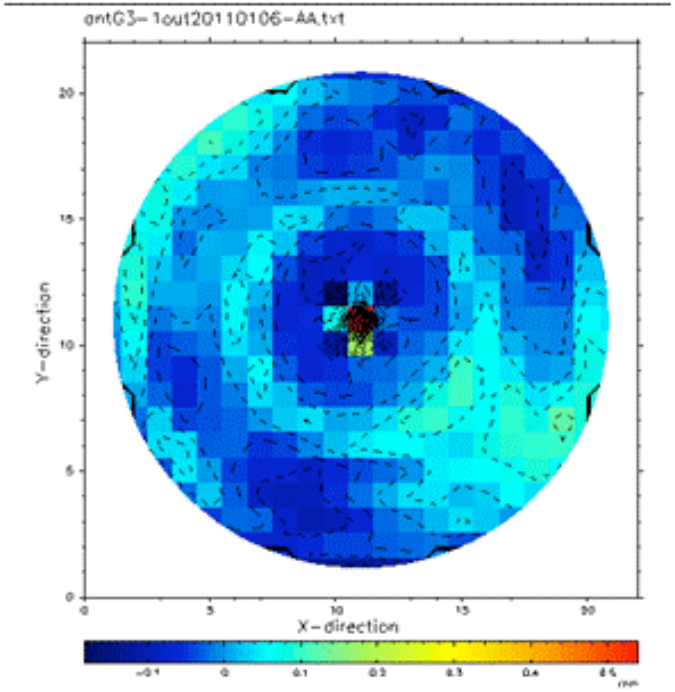
どうなっているのだろう？？

・実は金型が違う-----
金型自体の面精度か？
型を精密に作れば
それだけで良い鏡面が
作れる？
・板の厚さで製作精度が
変わる？
薄いと軽くなって一挙両得



3mm厚アンテナ

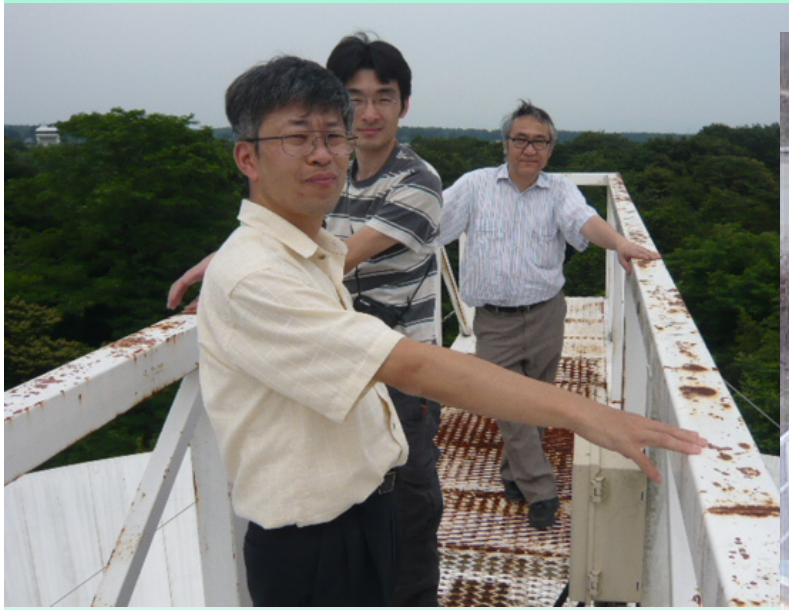
放物面からのずれ
約170ミクロン



1.5mm厚アンテナ

放物面からのずれ
約62ミクロン

大型鏡にも応用できる？：早稲田・大師堂研・大型球面鏡
（MITが鉄板を丸めた。10GHzまで観測可能な面精度）
絞りアンテナ（~2m)を何枚も敷き詰める？



球面鏡には焦点は無いが、副鏡を非球面の副鏡によって焦点を作る。
副鏡の駆動で数時間の追尾可能。同一曲率のパネル大量製作による
コストダウン、大型主鏡面固定による自重変形からの解放などの利点

相対論・重力の理論家、他波長観測家との連携も密に構築

- 2008年ブラックホール磁気圏勉強会　No1
- 2009年春の天文学会企画セッション：銀河中心SgrA*とブラックホール時空
- 2009年ブラックホール磁気圏勉強会　No2
- 2010年 春の物理学会 シンポジウム：
  一般相対論の直接検証：ブラックホール・シャドーの直接撮像と重力波の検出
- 2010年ブラックホール磁気圏勉強会　No 3
- 2011年ブラックホール磁気圏勉強会　No 4
- 2011年国立天文台研究集会：銀河中心Sgr A*の観測的ブラックホール時空研究

ref.“森本さんは佐藤文隆を宇宙電波に招聘したいと思っていた。”
(平林@11年）　後年、中野さんを野辺山に。高原さんも昔、いた。
不足な部分を補うことを、森本さんは考えていた？

←BH2010@プラハ、
2010年2月サマリ・トーク：
Fabian先生激賞！

↑ 09年天文学会での企画

綿密な線表はない。。。

“スケジュールは必ず遅れる”

～「はやぶさ」式思考法より～

とはいえ……

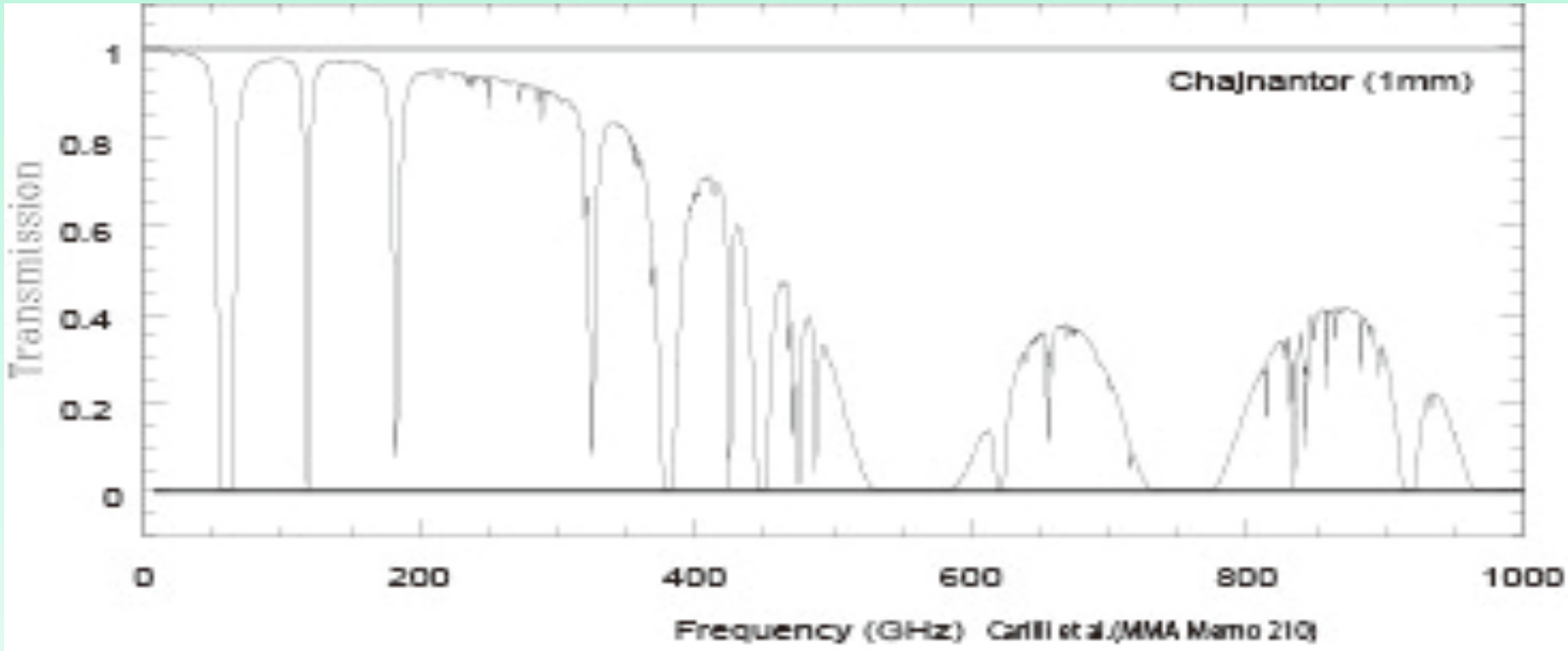
一般相対論誕生100年、2016年までに“きゃらばん”を実現、強重力場での検証を可能にしたい。…その先….

ブラックホール解像は230/340GHzで地上の高地で始める

・ブラックホール複数を本格的にみるには（散乱から自由な）テラヘルツ。

・大気はテラヘルツ電波を通さない。

・だからスペース。（＝X線天文学がスペースなのと同じ理由）



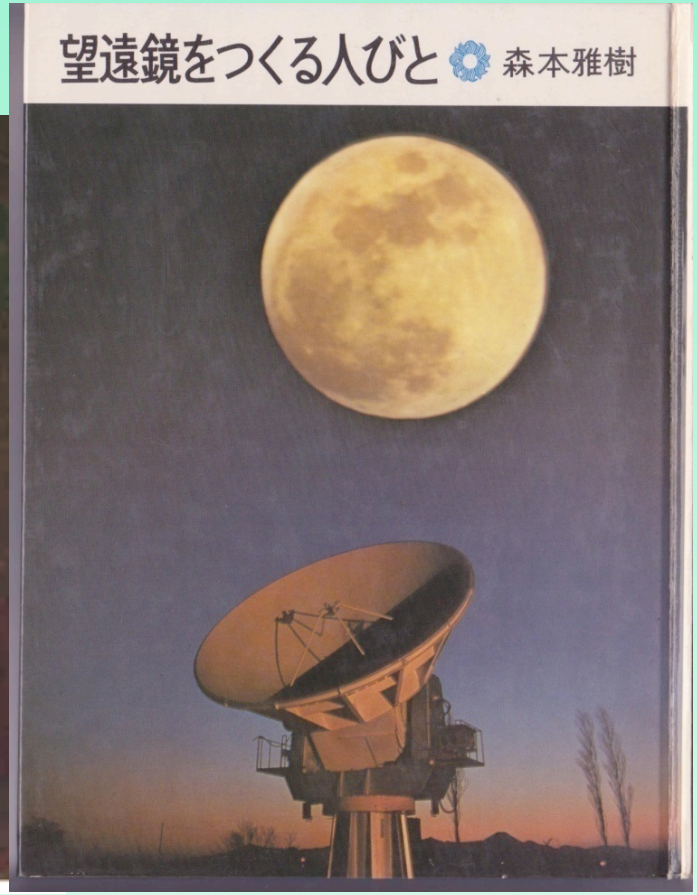
ロケット搭載の展開式で大型テラヘルツアンテナは無理

宇宙で人が組み立てれば大きな高精度アンテナが作れる

（1986.10,近田義広*によるWS報告、VSOP検討書から.
戎崎さんも最近言っているが。）

サブmm波では，ある程度の実現性があって面白そうなのは，ＬＤＲ（P. Swanson, JPL, "The Large Deployable Reflector (LDR) - Plans and Progress"）でした． 20mφ，誤差 3μrms の反射鏡で波長３０μから１mmと言うIRASより長い波長域をカバーするシングル・ディッシュです．たたんだトラスを伸展して堅くて軽い積層ハニカム・サンドイッチ・パネルをのせる．組み立てはスペース・ステーションを使って人手でやるが，面の調整作業はできないから主鏡の各パネルが（第３）副鏡の各パネルに対応するようにして，主鏡のパネル設定誤差を副鏡パネル調整でキャンセルすると言うものです．もし打ち上がれば遠赤外からサブmm波にかけて，ものすごいことになるでしょう．

6mミリ波鏡の時代のような熱い研究を！



（写真：1970年頃？）無給でプロジェクトに取り組むOD,学生。
論文もかけないのに望遠鏡を立ち上げる人々。予算も少ない
人数も少ない。しかし、この時代ころが一番人材を作った。

写真左はオジサンのwebから